

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA



**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO**

**CARACTERIZACIÓN DE ÁRBOLES SUPERIORES DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.)
SELECCIONADOS POR EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL CATIE.**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Postgrado, Programa de
Educación para el desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico
Tropical de Investigación y Enseñanza para optar al grado de:

Magíster Scientiae

Por:

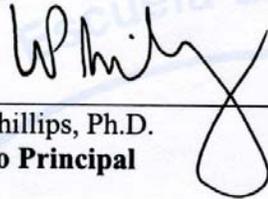
ADRIANA MARCELA ARCINIEGAS LEAL

**CATIE
Turrialba, Costa Rica
2005**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



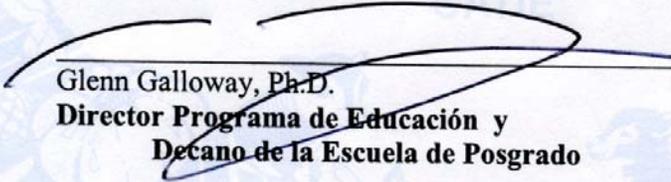
Wilbert Phillips, Ph.D.
Consejero Principal



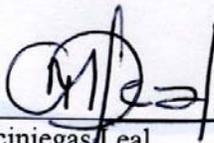
Carlos Astorga, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



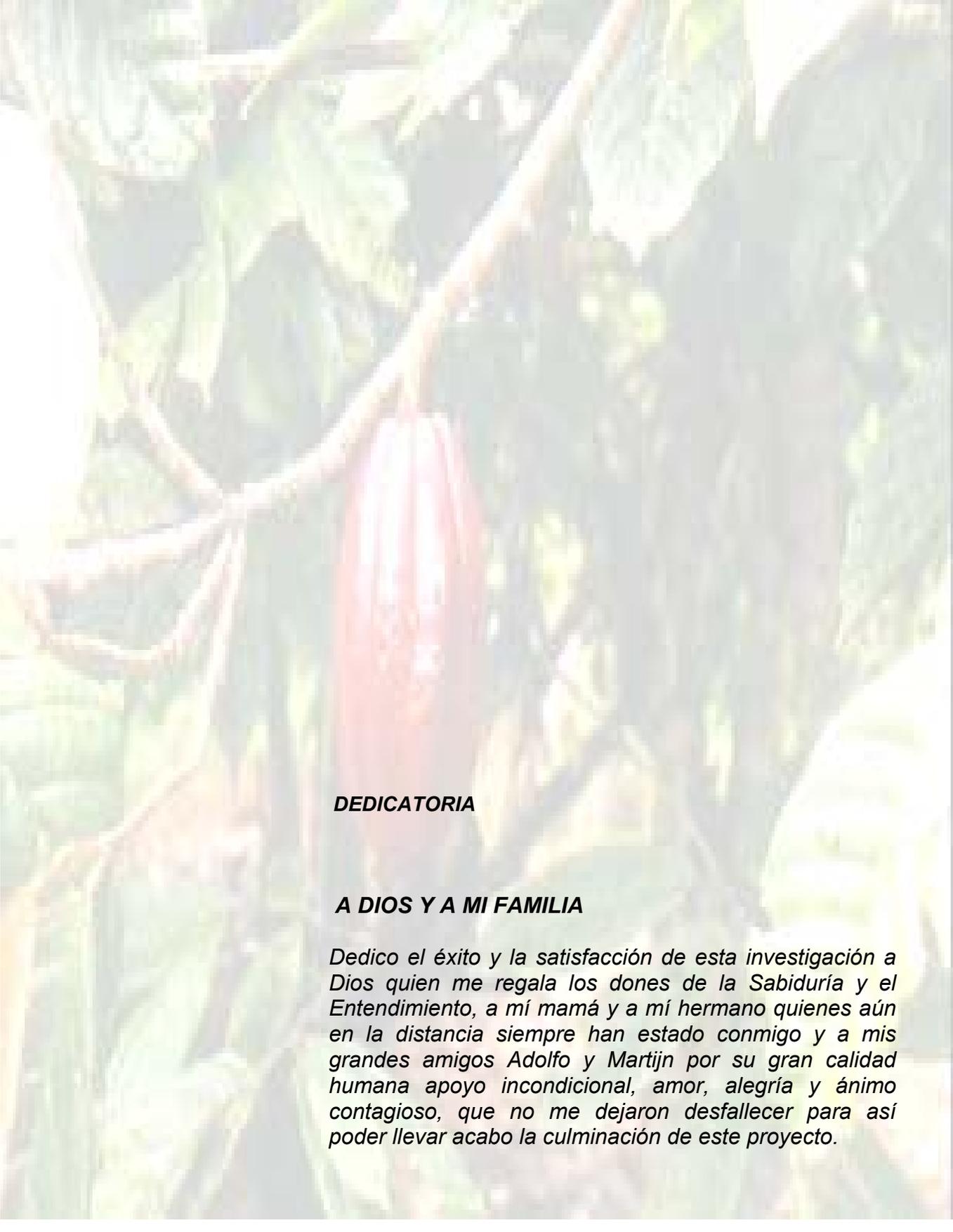
Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Adriana Marcela Arciniegas Leal
Candidata



DEDICATORIA

A DIOS Y A MI FAMILIA

Dedico el éxito y la satisfacción de esta investigación a Dios quien me regala los dones de la Sabiduría y el Entendimiento, a mí mamá y a mí hermano quienes aún en la distancia siempre han estado conmigo y a mis grandes amigos Adolfo y Martijn por su gran calidad humana apoyo incondicional, amor, alegría y ánimo contagioso, que no me dejaron desfallecer para así poder llevar a cabo la culminación de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar de todo corazón mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron su colaboración, sus conocimientos, su ayuda incondicional y por sobre todo su amistad durante la realización de esta investigación. Este es el esfuerzo de un gran equipo de trabajo, a cada uno de ellos, Gracias.

A Dios, esa fuerza superior en quienes muchos no creen y se respeta, pero a ese ser que es omnipotente, quien me regalo a mí familia, quien me regala cada amanecer y por sobre todo quien me regala el entendimiento para realizar cada reto de vida.

A mí dulce mamita, quien siempre esta pendiente de encomendarme en sus oraciones y de pedir por mí, para que cada día sea mejor, no solo en lo que hago como trabajo, sino de ser mejor como persona, a ella por ayudarme y comprenderme en el querer estar acá sin los míos para poder superarme, a ella a quien tanto amo de nuevo Gracias.

Wilberth Phillips-Mora Ph.D., consejero principal e investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Cacao en CATIE, por brindarme una oportunidad, por sus valiosos aportes, dedicación constante, confianza depositada en mí y porque en muchas oportunidades el tiempo transcurre muy rápidamente, pero descubres que no solo hay conocimiento, sino también hay lazos de amistad y personas de gran calidad humana. Gracias por brindarme todos estos valiosos detalles que me llevaron a la culminación de este gran trabajo.

Fernando Casanoves Ph.D., y Carlos Astorga M.Sc., docentes y miembros del comité, quienes con sus valiosos conocimientos, enseñanzas y apreciables asesorías, han aportados grandes beneficios para la realización de esta investigación, además de su amistad que hacen de la vida un sabor especial y una experiencia enriquecedora en cada vivencia.

Adolfo Martínez Guillén Ing. Agrónomo., por ser ante todo un amigo incondicional de gran espíritu y calidad humana, en las buenas y en las malas. Gracias por haberme brindado tus conocimientos en el área, apoyo, escucha, alegría, complicidad, ánimo contagioso, por creer en mí y por haber hecho de estos últimos cuatro años en Costa Rica, una vivencia inolvidable de vida y por sobre todo por no dejarme desfallecer, y así poder llevar acabo cada meta trazada en esta Institución y en los proyectos de vida.

Martijn Ten Hopeen, M.Sc., gracias por brindarme tu calidez y momentos de escucha cuando más lo necesite, tu camaradería y particular comprensión, no me dejaron abandonar la lucha y de este modo logre finalizar otra etapa en el CATIE.

Antonio Mora M.Sc. y Carlitos Castillo M.Sc., por haberme brindado su amistad y ayuda incondicional en la realización de este documento. Y no solo eso, si no por que en cada viaje realizado a la Finca Experimental de la Lola, me enseñaron grandes cositas y me brindaron gran parte de su calidad de tiempo y secretos adquiridos de su formación profesional. A Toño a quien le debo gran parte de las fotografías plasmadas en esta tesis.

Tony Alfaro y José Castillo, colaboradores e investigadores del proyecto, quienes me brindaron sus conocimientos y me enseñaron cada una de las labores requeridas, para alcanzar los resultados de la investigación propuesta. Sus aportes valiosos son el reflejo de la culminación de este trabajo.

Karol Alpizar, Alan Meneses, Valex, Abel y todos, los que forman parte de esta gran familia del Programa de Mejoramiento Genético en Cacao. Gracias por sus conocimientos y por la ayuda incondicional brindada en cada labor asignada para culminar esta etapa.

Jhon Zuluaga y esposa M.Sc., Diego Tobar M.Sc., Titi Evans M.Sc., Adriana Becerra M.Sc., Esperanza Burgos M.Sc., Virginia Vergara M.Sc., y Bethy Florez M.Sc., a quienes nos une no solo el conocimiento, sino los lazos de amistad, cariño y las experiencias vividas. Gracias por ayudarme desinteresadamente en la realización de esta investigación y en mi vida personal. A ellos a quienes quiero mucho y nunca olvidare en particular, y a todos mis compañeros de maestría gracias por cada ratito brindado.

En todas las etapas de vida, como proyectos de investigación, existen personas que desinteresadamente, tienen una participación efectiva para el buen desarrollo de este trabajo y son todos aquellos que de una u otra forma aportaron su granito de arena, son ellos: **William Vasquez, Alexis Ramírez, Luisa Garcia, Gerardo Barquero, Janeth Sanchez, Gilberto Gamboa y Kattya Castillo**, y así podría mencionar a muchos más que en este momento se me escapan pero a quienes les doy un gracias infinitas.

A Todos de nuevo, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos Especificos	3
1.2 Hipótesis.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Generalidades sobre el cacao	5
2.1.1 Importancia del cacao.....	5
2.1.2 Biología y botánica del cacao	5
2.1.3 Taxonomía y razas cultivadas	6
2.2 Requerimientos ambientales.....	7
2.3 Manejo agronómico de la plantación.....	8
2.4 Enfermedades del cacao.....	10
2.4.1 Métodos de combate de las enfermedades.....	11
2.4.2 La mazorca negra o fitóftora	11
2.4.2.1 Sintomatología.....	11
2.4.2.2 Control de la enfermedad	12
2.4.2.3 Resistencia genética	12
2.4.2.4 Métodos de inoculación.....	13
2.4.3 La moniliasis	14
2.4.3.1 Sintomatología.....	15

2.4.3.2	Control de la enfermedad	15
2.4.3.3	Resistencia genética	16
2.4.3.4	Métodos de inoculación.....	16
2.5	Mejoramiento genético convencional.....	17
2.6	Parámetros de rendimiento	17
2.6.1	Número de frutos por árbol.....	18
2.6.2	Peso del fruto.....	18
2.6.3	Índice de mazorca	18
2.6.4	Índice de semilla	19
2.6.5	Índice de rendimiento	19
2.6.6	El vigor en las plantas.....	19
2.7	Beneficio del cacao	20
2.7.1	Factores modificantes de la calidad en cacao.....	23
2.7.1.1	Influencia del genotipo.....	23
2.7.1.2	Influencia de las condiciones edafoclimáticas.....	25
2.8	Caracterización morfológica	25
2.9	Compatibilidad.....	27
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1	Generalidades del estudio	29
3.2	Material experimental	30
3.3	Caracterización morfo-fisiológica.....	34
3.3.1	Selección de los parámetros morfo-fisiológicos	34
3.3.2	Caracterización morfo-fisiológica de los frutos	34
3.3.3	Caracterización morfo-fisiológica de las semillas	36
3.4	Determinación de los índices de fruto y semilla. Preparación de muestras para evaluaciones de calidad	38
3.4.1	Proceso de fermentación.....	38

3.4.2	Secado de las muestras	39
3.4.3	Preparación y envío de las muestras para análisis de calidad	41
3.4.4	Determinación de los índices de fruto, semilla y rendimiento.....	41
3.5	Determinación del vigor y del estado general de los árboles superiores.....	42
3.6	Resistencia a <i>Phytophthora palmivora</i>	43
3.6.1	Preparación del inóculo	43
3.6.2	Preparación de las mazorcas para la inoculación y evaluación	43
3.6.3	Métodos usados para la inoculación y evaluación de los materiales	44
3.6.3.1	Inoculación artificial de segmentos de cáscara de fruto	45
3.6.3.2	Inoculación artificial de frutos enteros	45
3.6.4	Variables de medición	45
3.7	Determinación de la compatibilidad	46
3.8	Resumen general.....	47
4	RESULTADOS	50
4.1	Evaluación de parámetros morfo-fisiológicos.....	50
4.1.1	Evaluación de variables cuantitativas del fruto	50
4.1.1.1	Peso del fruto	53
4.1.1.2	Longitud del fruto	54
4.1.1.3	Diámetro del fruto	54
4.1.1.4	Espesor del caballete del fruto	55
4.1.1.5	Profundidad del surco para el fruto	56
4.1.1.6	Relación Largo/Ancho del fruto	57
4.1.2	Evaluación de variables cuantitativas de la semilla.....	57
4.1.2.1	Número de semillas por fruto	62
4.1.2.2	Peso Húmedo de las semillas	62
4.1.2.3	Peso seco de las semillas	63

4.1.2.4	Número de semillas vanas	64
4.1.2.5	Longitud, diámetro y espesor de la semilla	64
4.1.3	Evaluación de variables cualitativas del fruto	65
4.2	Evaluación de los parámetros de producción	69
4.2.1	Frutos/árbol/año.....	72
4.2.2	Frutos sanos/árbol/año	73
4.2.3	Porcentaje de frutos sanos/árbol/año	74
4.2.4	Porcentaje de frutos enfermos con monilia por año	74
4.2.5	Porcentaje de frutos enfermos con <i>Phytophthora</i> por año	75
4.2.6	Producción por árbol (kg/ha/año)	76
4.2.7	Índice de semilla o grano.....	77
4.2.8	Índice de fruto o mazorca	78
4.3	Determinación del vigor y del estado general de los árboles superiores en el campo	79
4.3.1	Evaluación de variables cuantitativas de la morfología del árbol	84
4.3.1.1	Altura del árbol	84
4.3.1.2	Diámetro del tronco	84
4.3.1.3	Índice de rendimiento	85
4.3.1.4	Cantidad de ramas principales.....	86
4.3.2	Evaluación de variables cualitativas de la morfología del árbol	87
4.3.2.1	Vigor	87
4.3.2.2	Cantidad de follaje.....	87
4.3.2.3	Apertura de la copa	88
4.3.2.4	Competencia	89
4.3.2.5	Nivel de sombra.....	89
4.4	Correlaciones múltiples de variables cuantitativas	90
4.5	Evaluación de la resistencia a <i>Phytophthora palmivora</i>	92

4.6	Determinación de la autocompatibilidad.....	97
5	DISCUSIÓN.....	100
5.1	Cuantificación de la producción	101
5.2	Resistencia genética a enfermedades.....	105
5.3	Autocompatibilidad	107
5.4	Caracterización fenotípica de los materiales.....	107
6	CONCLUSIONES.....	109
7	RECOMENDACIONES	111
8	BIBLIOGRAFÍA.....	112
	ANEXOS.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Descriptores morfológicos del fruto evaluados en esta investigación.....	35
Figura 2.	Descriptores morfológicos.....	36
Figura 3.	Descriptores cuantitativos utilizados para la caracterización de la semilla. .	38
Figura 4.	Etapas en el proceso de beneficiado	40
Figura 5.	Métodos de inoculación para determinar la resistencia de genotipos de cacao a <i>Phytophthora palmivora</i>	44
Figura 6.	Procedimiento usado para determinar la autocompatibilidad de genotipos superiores de cacao	47
Figura 7.	Distribución de frecuencias para el peso del fruto.	53
Figura 8.	Distribución de frecuencias para la longitud del fruto.	54
Figura 9.	Distribución de frecuencias para diámetro del fruto	55
Figura 10.	Distribución de frecuencias para el espesor del caballete del fruto.	56
Figura 11.	Distribución de frecuencias para la profundidad del surco del fruto.	56
Figura 12.	Distribución de frecuencias para la relación largo/ancho del fruto.....	57
Figura 13.	Distribución de frecuencias para número de semillas por fruto.	62
Figura 14.	Distribución de frecuencias para el peso húmedo de las semillas.....	63
Figura 15.	Distribución de frecuencias para el peso seco de las semillas.....	63
Figura 16.	Distribución de frecuencias para el número de semillas vanas.....	64
Figura 17.	Distribución de frecuencias para longitud, diámetro y espesor de las semillas por fruto, de 92 genotipos superiores de cacao	65
Figura 18.	Distribución de frecuencias de frutos por árbol por año, de 90 genotipos superiores de cacao... ..	73
Figura 19.	Distribución de frecuencias para el porcentaje de frutos sanos por árbol por año, de 90 genotipos superiores de cacao.	73
Figura 20.	Distribución de frecuencias para el porcentaje de frutos sanos por árbol por año, de 90 genotipos superiores de cacao.	74
Figura 21.	Distribución de frecuencias para el porcentaje de frutos enfermos con monilia, de 90 genotipos superiores de cacao.....	75

Figura 22.	Distribución de frecuencias para frutos enfermos con <i>Phytophthora</i> , de 90 genotipos superiores de cacao.	76
Figura 23.	Distribución de frecuencias para la producción kg/ha/año de 90 genotipos superiores de cacao	77
Figura 24.	Distribución de frecuencias para el índice de semilla de 92 genotipos de cacao.....	78
Figura 25.	Distribución de frecuencias para el índice de fruto de 92 genotipos de cacao.	78
Figura 26.	Distribución de frecuencias para el índice de rendimiento de 71 genotipos de cacao.....	86
Figura 27.	Distribución de frecuencias de la altura del árbol de 73 genotipos superiores de cacao.....	84
Figura 28.	Distribución de frecuencias del diámetro del tronco a los 60 meses de 71 genotipos superiores de cacao	85
Figura 29.	Distribución de frecuencias de la cantidad de ramas principales de 73 genotipos superiores de cacao	87
Figura 30.	Distribución de frecuencias del vigor de 73 genotipos superiores de cacao.	87
Figura 31.	Distribución de frecuencias de la cantidad de follaje de 78 genotipos superiores de cacao	88
Figura 32.	Distribución de frecuencias de la apertura de copa de 78 genotipos superiores de cacao	88
Figura 33.	Distribución de frecuencias de la competencia de 78 genotipos superiores de cacao.....	89
Figura 34.	Distribución de frecuencias del nivel de sombra de 78 genotipos superiores de cacao.....	90
Figura 35.	Diagrama de dispersión de puntos para el efecto de los métodos de inoculación de <i>Phytophthora palmivora</i>	94
Figura 36.	Proporción de genotipos superiores con su determinada reacción <i>Phytophthora palmivora</i>	95
Figura 37.	Dendrograma del agrupamiento de 62 genotipos de cacao evaluados de acuerdo a la compatibilidad	99

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características de las almendras de diferentes orígenes.	22
Cuadro 2.	Origen de 78 árboles individuales evaluados en estudio.	32
Cuadro 3.	Clones de cacao evaluados en el presente estudio (25 clones en total).	33
Cuadro 4.	Descriptores morfo-fisiológicos utilizados para la caracterización de frutos de genotipos superiores.	35
Cuadro 5.	Parámetros morfo-fisiológicos utilizados para la caracterización de las semillas de genotipos superiores.	37
Cuadro 6.	Otros parámetros morfo-fisiológicos utilizados para la caracterización de las semillas de genotipos superiores.	37
Cuadro 7.	Parámetros para determinar el vigor y estado general de los árboles superiores.	42
Cuadro 8.	Escala para definir la severidad de <i>Phytophthora palmivora</i>	46
Cuadro 9.	Genotipos superiores de cacao evaluados en cada una de las fases de esta investigación.	48
Cuadro 10.	Caracterización de 92 genotipos superiores de cacao: Variables cuantitativas del fruto	50
Cuadro 11.	Caracterización de 92 genotipos superiores de cacao: Variables cuantitativas de la semilla	58
Cuadro 12.	Evaluación de 92 genotipos superiores de cacao: variables cualitativas del fruto	66
Cuadro 13.	Evaluación de 92 genotipos superiores de cacao: variables cualitativas del fruto y la semilla	67
Cuadro 14.	Evaluación de 92 genotipos superiores de cacao: variables relacionadas con la producción.	70
Cuadro 15.	Evaluación de 73 genotipos superiores de cacao: morfología del árbol y nivel de competencia y sombra.	80
Cuadro 16.	Evaluación de 73 genotipos superiores de cacao: morfología del árbol y nivel de competencia y sombra.	83
Cuadro 17.	Evaluación de 10 genotipos superiores de cacao: métodos de inoculación de <i>Phytophthora palmivora</i>	93
Cuadro 18.	Evaluación de genotipos superiores de cacao: inoculación a <i>Phytophthora palmivora</i>	96

Cuadro 19.	Evaluación de 62 genotipos superiores de cacao: compatibilidad.....	98
Cuadro 20.	Estadística descriptiva para cada uno de los conglomerados formados.	98

RESUMEN

Esta investigación se enmarca dentro de un esfuerzo que el CATIE realiza desde hace varios años tendiente a desarrollar genotipos superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.), caracterizados por su alta producción y calidad industrial, pero sobre todo por su resistencia genética a moniliasis (*Moniliophthora roreri*), que es el principal factor limitante del cultivo en varios países de Centro y Sudamérica. El estudio consistió en evaluar 103 genotipos bajo condiciones de campo y laboratorio, los cuales fueron previamente seleccionados en los campos experimentales del CATIE por su notable comportamiento en cuanto a producción y resistencia a enfermedades. Dentro de los materiales evaluados se incluyeron como testigos clones internacionales y genotipos susceptibles.

Existió una notable variación entre los genotipos para todas las variables evaluadas. Así, el 4,4% presentó una producción estimada entre 1706,4 y 2696,0 kg/ha/año, un 25,6% entre 1151,7 y 1706,4 kg/ha/año, un 47,8% entre 596,9 y 1151,7 kg/ha/año, y un 22,2% entre 42,2 y 596,9 kg/ha/año. El 51,1% de los materiales presentó un índice de fruto inferior a 25 mazorcas, mientras que el 85,5% mostró un índice de semilla mayor a 1,0 g, que son los valores internacionalmente aceptados para estos parámetros. El índice de rendimiento, el cual relaciona la producción con el vigor de la planta, mostró una fuerte variación desde valores altos en un 4,2% de la población a muy bajos en un 47,8%.

Para determinar la resistencia a moniliasis se usaron los registros de incidencia natural de 4-5 años del Programa de Mejoramiento del CATIE. Se observó que clones susceptibles como el Pound-7 perdían casi un 80% de los frutos debido a la enfermedad. Algunos de los árboles registraron incidencias superiores al 35% y para los clones la mayoría registró incidencias inferiores al 26%. Para determinar la reacción a mazorca negra (*Phytophthora palmivora*) se utilizaron dos métodos de inoculación (segmentos de frutos y/o frutos enteros) encontrándose que el primer método presentaba muchas inconsistencias. Consecuentemente los genotipos se evaluaron usando frutos enteros, obteniéndose una notable proporción de cultivares resistentes (21%) o moderadamente resistentes (33%).

Haciendo uso de los parámetros recomendados por el IPGRI (2000), los genotipos se caracterizaron morfofisiológicamente usando 23 variables del fruto y la semilla. Esto permitió hacer una mejor distinción de los genotipos y determinar el nivel de variación

fenotípica que ellos muestran. La mayoría de los materiales presentó frutas con forma amelonada (82,6%), color verde (55,4%), ápice redondeado (39,1%), sin constricción basal (73,9%), con una rugosidad suave de la cáscara (79,4%) y un mesocarpo suave (67,4%). Se determinó también que el 67,7% de los genotipos evaluados son autocompatibles, mientras que el 32,2% son autoincompatibles.

En cuanto al estado general de las plantas no se encontraron evidencias que expliquen el comportamiento notable de los materiales seleccionados con base en alguna condición especial que los favorezca en el campo. El 58,9% tiene un vigor intermedio al igual que una cantidad de follaje intermedia en tanto que el 38,4% poseen una copa medianamente cerrada.

Se concluye que el uso de parámetros de diversa naturaleza, tanto morfofisiológicos como fitopatológicos, permitió acumular una gran cantidad de información novedosa sobre genotipos pre-seleccionados, distinguir los materiales fenotípicamente y contar con mayores elementos para seleccionar los materiales más sobresalientes para ser incluidos en las siguientes fases del Programa de Mejoramiento Genético del CATIE.

Palabras clave: cacao, genotipos superiores, caracterización, rendimiento, moniliasis, mazorca negra, autocompatibilidad, calidad, vigor e índices de fruto, semilla y rendimiento.

ABSTRACT

This study took place within the framework of an ongoing program at CATIE, aimed at the development of superior cocoa genotypes (*Theobroma cacao* L.), characterized by high production, industrial quality and above all their genetic resistance to moniliasis (*Moniliophthora roreri*), the main constraint to cocoa production in Central and South America. The study consisted of the evaluation of 103 selected cocoa genotypes, which had previously shown good production and disease resistance in experimental fields of CATIE. The genetic material that was evaluated included several international clones and susceptible genotypes as controls.

Notable differences existed between the genotypes for all evaluated variables. A total of 4.4% of the genotypes had an estimated production of 1706.4 and 2696.0 kg ha⁻¹ yr⁻¹, 25.6% between 1151.7 and 1706.4 kg ha⁻¹ yr⁻¹, a further 47.8% between 596.9 and 1151.7 kg ha⁻¹ yr⁻¹, and 22.2% between 42.2 and 596.9 kg ha⁻¹ yr⁻¹. A fruit index of less than 25 was recorded in 51.1% of the genotypes, while 85.5% had a seed index greater than 1.0 g. These values are the internationally accepted values for these indices. The performance index, which relates production to the vigor of the plant, showed a strong variation from high values in 4.2% to very low values in 47.8% of the population.

The natural disease incidence records of the last 4-5 years of CATIE's cocoa improvement project were used to determine moniliasis resistance. Susceptible clones, like Pound 7, were observed to lose almost 80% of their pods to the disease. Some trees registered disease incidences greater than 35%, while in the majority of the clones disease incidences lower than 26% were recorded. To determine black pod (*Phytophthora palmivora*) resistance, two inoculation methods were used: inoculation of fruit segments or whole fruits. It was found that the first method showed inconsistent results; consequently the genotypes were evaluated using whole fruits. A total of 21% of cultivars was resistant and 33% was moderately resistant.

Using the recommended IPGRI (2000) parameters, the genotypes were characterised morpho-physiologically using 23 fruit and seed features. This allowed for a better distinction between genotypes and to determine their level of phenotypical variation. The majority of

the trees had green (55.4%) melon-shaped (82.6%) pods with a rounded apex (39.1), no basal constriction (73.9%), and a soft mesocarp (67.4%) with a slightly rough grooved shell (79.4%). The majority of the evaluated genotypes were self-compatible (67.7%), whereas 32.2% were self-incompatible.

No evidence was found to indicate that field conditions contributed to the results found in this study. Most trees had intermediate vigor (58.9%), and foliage, and 38.4% possessed a moderately closed canopy.

In conclusion, the use of different parameters, both morpho-physiological as phytopathological allowed the accumulation of novel information on valuable genotypes, to distinguish materials phenotypically and provided information necessary in order to select the most promising materials for further studies in the next phases of CATIE's cocoa genetic improvement project.

Key words: cocoa, superior genotypes, characterization, yield, disease resistance, black pod, moniliasis, self-compatibility, quality, vigor, and fruit, seed and yield indices.

1 INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica en diversos países del mundo, como Costa de Marfil, Ghana, Camerún, Indonesia, Colombia, Venezuela, Ecuador entre otros. La producción mundial de cacao es de 3.102.000 toneladas, siendo Costa de Marfil el principal productor mundial con 1.320.000 toneladas, en tanto que para América el mayor productor es Brasil con 163.000 toneladas. Por lo tanto los países del continente Africano aportan el 69,6%, Asia y Oceanía 17% y América 13,4% de la producción total de cacao a nivel mundial respectivamente (ICCO 2005).

En las últimas décadas la producción cacaotera mundial se ha visto seriamente afectada por enfermedades fúngicas. En América tropical las más importantes de ellas son la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), la escoba de bruja (*Crinipellis perniciosa*) y la mazorca negra (*Phytophthora palmivora*) reportándose pérdidas que bajo condiciones favorables pueden alcanzar entre un 100 y un 45% durante todo el ciclo de producción (Evans 1998; Delgado *et al.* 1993; Porras *et al.* 1990).

En forma general se puede mencionar que la mazorca negra es la enfermedad más limitante a nivel mundial, en tanto que en América del Sur y Central las enfermedades más serias son la escoba de bruja y la moniliasis, las cuales a pesar de no estar presentes simultáneamente en todos los países, causan daños muy serios en toda la región (FONCACAO 1994). Otro factor que también ha limitado la actividad cacaotera en Latinoamérica ha sido la inestabilidad de los precios internacionales del cacao, lo cual ha tenido efecto sobre las enfermedades al desestimular las inversiones, inducir al abandono de las plantaciones y contribuir a la diseminación de las mismas.

Dada la magnitud del problema de las enfermedades en esta región, a través del tiempo se han hecho múltiples esfuerzos para buscar una solución. En el caso específico en el CATIE se está trabajando desde hace 4 años en la selección de micoparásitos que tengan potencial para inhibir el desarrollo de estas enfermedades. El Programa de Mejoramiento Genético de esta institución ha desarrollado investigaciones por más de

siete años tendientes a identificar y/o generar genotipos superiores de cacao de alto rendimiento y resistencia a las principales enfermedades en la región (CATIE 2004).

Resolver el grave problema de las enfermedades fungosas es un objetivo prioritario para poder explotar eficientemente el cultivo del cacao en América tropical. En este sentido, cada vez se reconocen más las virtudes ecológicas de este cultivo el cual normalmente es sembrado por pequeños agricultores en combinación con diversas especies bajo complejos sistemas agroforestales.

El objetivo de esta investigación es caracterizar la morfofisiología, los componentes del rendimiento y la calidad industrial de genotipos superiores de cacao previamente seleccionados por el Programa de Mejoramiento Genético del CATIE por su rendimiento y resistencia a enfermedades.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Caracterizar por medio de descriptores morfo-fisiológicos, de calidad y otros parámetros relacionados con el rendimiento, genotipos superiores de cacao seleccionados por el Programa de Mejoramiento Genético del CATIE por su alto rendimiento y resistencia a enfermedades.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el rendimiento y la resistencia a *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* haciendo uso de los registros contabilizados durante cinco años por el Programa de Mejoramiento Genético del CATIE.
- Caracterizar fenotípicamente los genotipos bajo estudio usando caracteres de fruto y semilla.
- Caracterizar el vigor y estado general de las plantas para seleccionar materiales con porte bajo.
- Producir muestras de cacao fermentado y seco para determinar la calidad organoléptica de los materiales seleccionados según los parámetros internacionales de calificación, los cuales serán realizados por la Industria Chocolatera Guittard de los Estados Unidos.
- Determinar los índices de fruto, semilla y rendimiento en cada uno de los materiales seleccionados.
- Determinar la reacción a *Phytophthora palmivora* usando inoculaciones artificiales.

1.2 Hipótesis

- Existen diferencias estadísticas entre genotipos para las variables de rendimiento y resistencia a enfermedades.
- Es posible distinguir los genotipos utilizando caracteres morfológicos del fruto y la semilla.
- El vigor y estado general de las plantas permiten caracterizar genotipos de porte bajo.
- Los descriptores morfo-fisiológicos y de calidad permiten conocer y determinar fácilmente como son los materiales superiores seleccionados en cuanto a calidad, producción anual y resistencia a enfermedades.
- Los registros del Programa de Mejoramiento Genético del CATIE, permiten establecer la incidencia de las enfermedades fungosas monilia y mazorca negra de los materiales seleccionados.
- Los parámetros propuestos permiten un mejor criterio en la selección y recomendación de los híbridos y cultivares para futuros Programas de Mejoramiento Genético, en cuanto a características agronómicas deseables como son la producción, el rendimiento y la resistencia a enfermedades.
- Existen diferencias entre los materiales en relación con su reacción a la compatibilidad.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre el cacao

2.1.1 Importancia del cacao

El género *Theobroma* es originario de América Tropical, específicamente de la cuenca alta del río Amazonas. El género posee algunas especies de gran relevancia económica en los trópicos, principalmente *Theobroma cacao* y en mucho menor grado *T. grandiflorum* y *T. bicolor*. Las semillas de *T. cacao* se han empleado a lo largo de la historia para la preparación de bebidas y otros alimentos, como moneda, bebida ceremonial y tributo a reyes. Esta especie se encuentra actualmente distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 20° de latitud norte hasta los 20° de latitud sur (ICCO 2003).

2.1.2 Biología y botánica del cacao

El cacao es una planta alógama, de ciclo vegetativo perenne y diploide ($2n=20$). El árbol de cacao alcanza alturas de 2 m hasta de 20 m cuando tiene condiciones óptimas de crecimiento (sombra intensa, temperatura, viento, agua y suelos apropiados). La planta proveniente de semilla presenta un tronco vertical que puede desarrollarse en forma muy variada dependiendo de las condiciones ambientales, el cual empieza su etapa de producción a los dos años después de establecido en el campo. Las plantas de origen clonal obtenidas mediante injerto o estacas presentan una conformación diferente sin el predominio de un eje principal (Enríquez 1987).

El cacao posee una raíz principal pivotante, con hojas simples, enteras y de colores variables que van desde morado hasta verde pálido, con pecíolo corto, posee flores pequeñas, hermafroditas y pentámeras con cinco lóculos donde hay de 6 a 12 óvulos. Las flores al igual que los frutos se producen en racimos pequeños, sobre el tejido maduro del tronco y de las ramas. Generalmente su polinización es entomófila, principalmente llevada a cabo por individuos del género *Forcipomya*. Una planta puede llegar a producir de

100.000 a 150.000 flores por año, de las cuales sólo se fecunda entre el 0,1 y 0,3% por lo que las demás caen (Cope 1976).

Los frutos maduran entre 5 y 6 meses después de la polinización. Poseen un mesocarpo de contextura lisa o arrugada que se divide en cinco carpelos interiormente. Los frutos son de tamaño y forma muy variable, generalmente tienen forma de baya de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro. Tienen forma elíptica y son de diversos colores al madurar (rojo, amarillo, morado y café); contienen entre 20 y 40 semillas que están cubiertas de una pulpa mucilaginosa de color blanco, cuyos cotiledones pueden ser de color blanco y/o violetas. Las semillas una vez secas alcanzan pesos entre 0,8 y 1,5 gr cada una (Tecnología para el Mejoramiento de Sistemas de Producción de Cacao 2000).

2.1.3 Taxonomía y razas cultivadas

Theobroma cacao pertenece al orden Malvales y a la familia Esterculiáceas (Cuatrecasas 1964; Hardy 1961). Se distinguen dos razas de cacao: forastero y Criollo. Los Forasteros, conocidos también como cacaos Amazónicos y/o amargos son originarios de América del Sur. Su centro de origen es la parte alta de la cuenca del Amazonas en el área comprendida entre los ríos Napo, Putumayo y Caquetá. Es la raza más cultivada en las regiones cacaoteras de África y Brasil y proporcionan más del 80% de la producción mundial (Motamayor 2002; Soria 1966).

Los forasteros se caracterizan por sus frutos de cáscara dura y leñosa, de superficie relativamente tersa y de granos aplanados, pequeños de color morado y sabor amargo. Dentro de esta raza se destacan distintas variedades como Cundeamor, Amelonado, Sambito, Calabacillo y Anjoleta. La variedad Nacional originaria de Ecuador se caracteriza por ser un cacao fino y de gran aroma y también pertenece a este grupo (Motamayor 2001; Enríquez 1992; CCI 1991).

Los Criollos (palabra que significa nativo pero de ascendencia extranjera), se originaron también en Sudamérica, pero fueron domesticados en México y Centro América y son conocidos también como híbridos de cacao dulce. Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas medianas a grandes, de color blanco a violeta, que se

cultivan principalmente en América Central, México, Colombia y parte de Venezuela. Poseen sabores dulces y agradables, donde los árboles son de porte bajo y menos robustos con relación a otras variedades. Sin embargo este grupo se caracteriza por su alta susceptibilidad a las principales enfermedades (Enríquez 2004; CCI 1991; Soria 1966).

Según Motamayor (2001) los cacaos Trinitarios están conformados por híbridos que comprenden las mezclas entre el criollo y el forastero tipo amelonado, que aparentemente se mezclaron naturalmente en el Caribe, siendo los genotipos típicos de Granada, Jamaica, Trinidad y Tobago. Este grupo aparentemente se originó cuando un genotipo criollo se cruzó naturalmente con un genotipo amelonado del Brasil. Por esta razón, estos materiales presentan características morfológicas y genéticas de ambas razas. Ocupan del 10 al 15% de la producción mundial. Presentan granos de tamaño mediano a grande y cotiledones de color castaño (CCI 1991; Soria 1966).

2.2 Requerimientos ambientales

Dentro de los requerimientos ambientales existen tanto las condiciones climáticas como las condiciones de suelo. Los factores climáticos críticos para el desarrollo del cacao son la temperatura y la lluvia, y le siguen en importancia el viento, la luz, la radiación solar y la humedad relativa (Enríquez 1987).

El cacao se desarrolla bajo temperaturas medias anuales de 21 °C. Las temperaturas extremas muy altas y bajas pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol. La temperatura determina la formación de flores. Por ejemplo si esta es menor de 21 °C, la floración es mucho menor que a 25 °C, donde la floración es normal y abundante. Esto provoca que en determinadas zonas la producción de mazorcas sea estacional y durante algunas semanas no haya cosecha, cuando las temperaturas son inferiores a 22 °C (Enríquez 1987).

El cacao es una planta sensible a la escasez de agua pero también al encharcamiento por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Los rangos óptimos de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos.

Otro de los factores son los vientos, debido a que fuertes vientos y de manera continua pueden provocar un desecamiento, muerte y caída de las hojas. Por ello en las zonas costeras es preciso el empleo de cortavientos para que el cacao no sufra daños. Los cortavientos suelen estar formados por distintas especies arbóreas frutales o madereras, que se disponen alrededor de los árboles de cacao (Sánchez y Dubón 1994).

El cacao requiere que los suelos sean muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos, con buen drenaje y topografía regular. Se puede decir que el cacao es una planta que prospera en una amplia diversidad de tipos de suelo. Usualmente, las plantaciones están localizadas en suelos que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limos, con pH que oscilan entre 4 y 7 (FUNDACITE 1998).

2.3 Manejo agronómico de la plantación

Una buena producción de cacao depende de las prácticas agrícolas que se realizan en cada una de las fases fenológicas del cultivo como son: (a) Fundación; (b) Mantenimiento; (c) Recuperación; (d) Rehabilitación. Además existen factores ecológicos como las condiciones de suelo y los factores climáticos que son críticos para el desarrollo del cacao como son las lluvias, la temperatura, la radiación solar y los vientos (López *et al.* 1996; Enríquez 2004).

a) Fundación: comprende los cuatro primeros años de la plantación, desde la primera labor hasta que los árboles inician su producción. En esta fase es muy importante la selección y preparación del terreno, dando preferencia a aquellos con buen drenaje (Enríquez 1987). También es básico el establecimiento de los diferentes tipos de sombra: sombra inicial, temporal y permanente. Es ideal que las mismas se enmarquen dentro de un sistema agroforestal para darle mayor sostenibilidad al sistema. Algunas

de las especies de sombra permanente más empleadas son: poró (*Erythrina poeppigiana*), madre del cacao (*Gliricidia sepium*), terminalia (*Terminalia ivorensis*), hule (*Hevea brasiliensis*), laurel (*Cordia alliodora*) y algunos frutales como el aguacate (*Persea americana*), zapote (*Pouteria sapota*) y rambután (*Nephelium lappaceum*), entre otros (Somarriba *et al.* 1996).

b) Mantenimiento: incluye aquellas prácticas que permiten mantener en buena forma la plantación cacaotera durante toda la época productiva. Estas prácticas de manejo incluyen: (1) El combate de malezas, la cual depende de la intensidad de luz que exista en el cacaotal, cultivo anterior y sustrato; (2) El aporque se realiza con el fin de ayudar a un mejor anclaje de los árboles después de dos años de sembrada la planta y (3) La fertilización varía de acuerdo a las condiciones de suelo y que a su vez depende de la etapa fenológica del cultivo. Otra práctica fundamental son las podas periódicas, las cuales permiten modificar la conformación del árbol y a su vez facilita el control de plagas y enfermedades. La práctica consiste en eliminar todos los chupones y ramas innecesarias, así como también las partes enfermas y muertas del árbol. Se considera una labor cultural de gran importancia por su efecto directo sobre el crecimiento y producción de las plantaciones. Cuando esta práctica no se realiza los árboles alcanzan un gran desarrollo (10-20 m), con abundantes chupones y ramas con crecimientos en diferentes.

c) Recuperación: se realiza cuando la plantación de cacao es joven es decir menos de 20 años y la misma presenta problemas que se manifiestan por baja producción, siendo necesario reponer un máximo del 20% del total de las plantas y además realizar prácticas agronómicas que permitan incrementar la productividad del cultivo (FUNDACITE 1998).

d) Rehabilitación: dado que las plantaciones viejas de cacao (más de 30 años) declinan en su producción, ellas requieren de una rehabilitación para reponer en forma total todas las plantas de cacao. Aunque el rendimiento de la plantación está influenciado por factores intrínsecos de la planta, éstos pueden ser modificados por el ambiente (Vera y Cabanilla 1987).

2.4 Enfermedades del cacao

El cacao es un cultivo arbóreo cultivado bajo condiciones del trópico húmedo, esto es en tierras bajas y ambientes generalmente sombreados, calientes (temperatura media anual por encima de 15 °C) y húmedos (precipitación anual entre 1400-2000 mm). Estas condiciones favorecen el ataque, establecimiento e impacto de los hongos (Wood 1985; Alvim 1967).

Las enfermedades inciden directamente en el potencial de producción y la calidad de las almendras del cacao mediante la infección parcial o total de las mismas. El costo para el control de las enfermedades es en general muy alto, sobre todo durante los largos periodos en que los precios del cacao son bajos. Buddenhagen (1977) clasifica las enfermedades del cacao de la siguiente manera:

- a) **Enfermedades genuinas:** Aquellas que guardan una asociación con el sitio de origen del cacao, debido a que han coevolucionado con el hospedero y por tanto tienen un alto nivel de especialización. Ejemplo: la escoba de bruja (*Crinipellis perniciosa*) y la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par.).

- b) **Enfermedades no necesariamente asociadas al cacao o a su sitio de origen:** se presentan de manera esporádica y pueden atacar diferentes órganos de la planta tales como frutos (*Colletotrichum gloeosporioides*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Trachysphaera fructigena*, *Thielaviopsis paradoxa*) o el sistema radicular o las ramas (*Fusarium roseum*; *Verticillium dahliae*, *Ceratocystis fimbriata*, *Rosellinia pepo*, *Armillaria mellea*, *Ganoderma philippii*, *Mycoleptodiscus terrestris* y *Corticium salmonicolor*).

- c) **Enfermedades comunes:** se presentan frecuentemente en la mayoría de los países productores de cacao. Son notorias a escala global causando pérdidas significativas a través de las infecciones de frutos. Un ejemplo típico son las enfermedades causadas por el género *Phytophthora*: *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. magakarya* y *P. palmivora*. Las dos enfermedades más importantes del cacao en Centro América son la mazorca negra y la moniliasis.

2.4.1 Métodos de combate de las enfermedades

El control de las enfermedades del cacao se hace mediante el uso de diferentes técnicas entre las que se contempla: (1) El uso de los químicos, que muestra desventajas debido a sus altos costos y a los efectos que pueda ocasionar en el ambiente, (2) Estrategias biológicas, estas son nuevas alternativas, pero que requieren un poco más de investigación, dentro de los cuales se ha desarrollado el uso de los micoparásitos, inducción de resistencia, entre otras; (3) Manejo fitosanitario con prácticas culturales, de las cuales se destacan los cultivos mixtos, sistemas agroforestales y control con el saneamiento dentro del cacaotal y (4) Resistencia Genética, que tiene como finalidad incluir en fincas la renovación del material genético, incorporando características deseables como: la tolerancia a enfermedades, rendimiento, calidad y producción. Todas estas estrategias son una alternativa para disminuir la presión de la enfermedad y aumentar la producción (Wessel y Gerritsma 1994). Este acápite será desarrollado al describir cada una de las enfermedades relevantes para esta investigación.

2.4.2 La mazorca negra o fitóftora

La mazorca negra del cacao es causada por el hongo *Phytophthora* spp. esta enfermedad es endémica de las áreas cacaoteras y a nivel mundial limita seriamente la producción, ocasionando pérdidas hasta de un 50-60% (Blaha *et al.* 1976; ICCO 1991). En Centroamérica las pérdidas pueden alcanzar hasta un 80% (Enríquez 2004). En esta región se ha informado de dos especies asociadas con esta enfermedad: *P. palmivora* que es la mas generalizada y *P. capsici* distribuida en países como El Salvador y Guatemala (Gregory *et al.* 1981).

2.4.2.1 Sintomatología

Aunque el hongo puede atacar plántulas y diferentes partes del árbol de cacao, como cojines florales, chupones, brotes, hojas, ramas, tronco y raíces, el principal daño lo sufren las mazorcas. En el fruto la infección aparece bajo la forma de manchas pardas, oscuras aproximadamente circulares, que rápidamente se agrandan y extienden por toda la

superficie a través de la mazorca. Las almendras que se infectan resultan inservibles y en un plazo de 10 a 15 días la mazorca está totalmente podrida. Otros datos reportados son el cáncer de tronco, la necrosis de la hoja y el pecíolo y la podredumbre de los botones florales (Chee 1974; Waterhouse 1977).

La lesión al nivel de los frutos empieza con una mancha circular de color café en la superficie del fruto, la cual crece rápidamente y puede cubrir la mazorca totalmente en 7 ó 10 días. Es posible apreciar los signos del hongo los cuales son evidentes porque se ve un micelio blanco poco compacto y superficial, que aparece a las 2 o 3 semanas después de la primera mancha (Gregory 1972).

2.4.2.2 Control de la enfermedad

Los mecanismos de control contemplados para el manejo de la enfermedad son los de naturaleza sintética (fungicidas) pero aunado a su alto costo de adquisición esta muy activa la tendencia a producir cacao con sello verde (orgánico) por lo que en la actualidad se hace empleo de prácticas de manejo cultural tales como: un programa de podas tanto de formación así como de saneamiento, eliminación de mazorcas enfermas, reducción de la cantidad de sombra y la adopción de una filosofía de cambiar los materiales sembrados por materiales resistentes (Lawrence 1978; Enríquez 2004), aspecto que el Programa de Mejoramiento Genético del CATIE tiene como objetivo muy bien definido.

Estos tres enfoques tanto el cultural, como el sintético y el uso de materiales resistentes, deben combinarse con adopciones culturales tales como: la reducción de cantidad de sobra, recolección de mazorcas maduras cada 8 a 15 días, tumba de mazorcas negras durante la cosecha, tratamiento de los montones de cáscaras con caldo bordelés, aspersión de fungicidas cúpricos orgánicos y uso de híbridos resistentes (Enríquez 2004).

2.4.2.3 Resistencia genética

Se han identificado como clones resistentes al SCA-6, SCA-12, Catongo, Pound-7, CC-42, EET-59 y UF-613 entre otros, sin embargo, la existencia de la mutación en el

patógeno, la zona donde estén los cultivares establecidos y el método con el cual se evaluaron los materiales han hecho que se encuentren diferencias entre autores en relación con el nivel de resistencia de los materiales (Firman y Vernon 1970; Enríquez 2004). Por ejemplo estudios realizados en campo bajo condiciones naturales hechos por Enríquez y Salazar (1987) demuestran que el Catongo es resistente. En tanto que Rodríguez (1983) encontró que era susceptible al evaluar su reacción artificialmente.

Estudios realizados por Phillips y Galindo (1988) comparando cuatro métodos de inoculación a *P. palmivora* determinaron que de acuerdo con la severidad, 19 cultivares fueron resistentes, 61 moderadamente susceptibles y 31 susceptibles. Los cultivares resistentes fueron: Pound-7, Catie-1000, CC-256, EET-59, EET-64, TSHN-812, SPA-5, SPA-11, SPA-17, UF-703, CC-124, EET-48, ICS-44, EET-250, CC-42, CC-38, CC-71, CC-232 y UF-602.

Sin embargo algunos autores reportan que el hongo posee mucha variabilidad genética y nuevas razas de *Phytophthora* que pueden estar relacionadas con el desarrollo de resistencia a fungicidas y por ende ocasionan el rompimiento de la resistencia de varios cultivares mejorados (Gregory *et al.* 1981).

2.4.2.4 Métodos de inoculación

Existen varios métodos de inoculación artificial, desde las mazorcas desprendidas del árbol (Enríquez y Salazar 1987) hasta inoculaciones realizadas directamente en el árbol (Lawrence 1978; Phillips y Galindo 1989), ó inoculaciones realizadas en diferentes órganos de la planta tales como semillas, tallos, hojas y plántulas de polinización abierta (Sreenivasan *et al.* 1982; Zentmyer 1987) y frutos con heridas hechas artificialmente (Medeiros *et al.* 1965). Por lo tanto la gran diversidad de métodos, la alta variabilidad natural del patógeno y las diversas condiciones climáticas donde se encuentran las plantaciones, han generado gran polémica entre los autores (Phillips 1996).

No obstante, al realizar el estudio de resistencia a los materiales, estos diversos métodos no establecen las condiciones naturales que desarrolla la infección, debido a que alteran la fisiología normal de las mazorcas y ocasionan un cambio en la respuesta de reacción

durante el periodo de evaluación, es por esta razón que muchos estudios no coinciden con la reacción obtenida bajo la infección natural (Blaha 1974; Lawrence 1978).

Otros factores a considerar son que muchos métodos empleados han alterado el potencial infectivo del inóculo por mezclar junto a el sustancias nutritivas que favorecen el desarrollo del patógeno y no permiten saber a ciencia cierta la cantidad de inóculo, ni la concentración que se debe manejar. Al igual que la concentración que es de suma importancia cuando se realizan inoculaciones artificiales, debido a que concentraciones muy altas pueden generar la ruptura en la resistencia de algunos materiales y las bajas pueden generar escapes en la presión de inóculo (French *et al.* 1982; Phillips 1996).

El inóculo más empleado ha sido la suspensión de zoosporas, pero también se ha empleado micelio, esporangios o fragmentos de mazorcas enfermas (Lawrence 1978; Orellana 1954). Las suspensiones se han aplicado inyectándolas (Partiot 1975), atomizando o sumergiendo los frutos en ellas (Wharton 1959) y con menos frecuencia se han empleado la absorción del inóculo en papeles filtro y motas de algodón al ser colocadas sobre el fruto (Partiot 1975; Wharton 1959).Es importante mencionar que los parámetros más empleados para medir la resistencia de los materiales han sido la incidencia y la severidad a los seis días después de la inoculación (Phillips y Galindo 1989).

2.4.3 La moniliasis

La moniliasis es causada por el hongo *Moniliophthora roreri* Cif & Par. (Evans *et al.* 2002), es conocida también como Pudrición acuosa, Helada, Mancha, Ceniza o Enfermedad de Quevedo. Según Phillips (2003), se encuentra distribuida en América Tropical y existen reportes que evidencian la enfermedad en: Guatemala (2002), Nicaragua (López y Enríquez 1980), Costa Rica (Enríquez y Suárez 1978), Ecuador (Jorgensen 1970), Panamá, Perú y Venezuela (Orellana 1956) y Colombia (Anon 1832).

La enfermedad es uno de los principales factores limitantes en varios países de América Tropical, región en donde el patógeno está restringido aunque muestra un comportamiento muy invasivo que ha hecho que más y más países en el área sean infectados. El hongo ocasiona pérdidas que oscilan entre un 16 hasta un 80% (Delgado y Suárez 1993) y en ocasiones alcanza hasta un 100% (Evans *et al.* 1998).

2.4.3.1 Sintomatología

La enfermedad ataca solamente los frutos del cacao a cualquier edad, donde la severidad del ataque varía según la zona y época del año y de acuerdo con las condiciones del clima. Aparentemente las temperaturas altas son más favorables para la diseminación de la *Monilia*. Los síntomas generalmente se presentan a nivel externo, donde ocasionan necrosis, deformación y pudrición, en mazorcas de 60 a 80 días de edad, es posible apreciar tejido interno necrosado (Reuck 1997).

2.4.3.2 Control de la enfermedad

Para el combate de la enfermedad se ha recomendado un manejo de la sombra que permita un mayor paso de luz y una mayor aireación para reducir la humedad ambiente, realizar podas periódicas, cosechar los frutos maduros, evitar el encharcamiento del cultivo y eliminar los frutos afectados enterrándolos, tratando de no diseminar las esporas del hongo por la plantación (Evans 1981).

Según Enríquez (2004), es recomendable visitar periódicamente la plantación, para recolectar cada 5 a 7 días mazorcas enfermas, que producen esporas y transmiten la enfermedad a frutos sanos. Esta práctica junto con la poda y la cosecha complementan los métodos de control (Compañía Nacional de Chocolates 1988).

El uso de funguicidas protectores de base cúprica, con aplicaciones cada siete a quince días incrementa el costo de producción, sin mencionar el daño que se causa al ambiente y la resistencia que se genera en el patógeno (Suárez 1997).

Otros estudios indican la compatibilidad existentes entre bacterias promisorias combinadas con agentes agroquímicos y fertilizantes usados en las prácticas de cultivo no orgánico, que ocasionan efecto de antagonismo en el control de la enfermedad (Muñoz *et al.* 2003).

Krauss y Soberanis (2001), reportan trabajos de control biológico realizados en América Central y del Sur, donde señalan menor incidencia de monilia y escoba de bruja (14,6% y 24,9%), aplicando mezclas de agentes antagonistas como: *Clonostachys rosea* y *Trichoderma* spp.

2.4.3.3 Resistencia genética

Estudios realizados por Phillips (2003), indican resistencia a monilia en los clones de cacao ICS-95 y SCC-61 en Colombia y del clon UF-273 en Costa Rica. Otras investigaciones revelan que los clones EET-233, EET-387 y EET-386 presentan algún grado de resistencia a la enfermedad cuando han sido comparado con otros clones, sin embargo, no hay reportes que demuestren si su descendencia es o no es resistente (Enríquez 2004).

2.4.3.4 Métodos de inoculación

Existen varios métodos de inoculación artificial, desde inoculaciones realizadas directamente en el árbol (Phillips y Galindo 1988), hasta inoculaciones realizadas en diferentes órganos de la planta tales como semillas y plántulas pre-germinadas (Evans 1981). De igual forma Arevalo (2005), propone inoculaciones a partir de savia del floema en tallo y frutos de cacao, el cual serviría de medio líquido para la germinación de esporas. Finalmente Surujdeo-Maharaj (2004), plantea realizar inoculaciones con plántulas de polinización abierta, extractos de diferentes partes de la planta (tallo, floema y endosperma) para germinación de esporas e inoculación por gota de agar. Todos estos métodos de inoculación artificial fueron discutidos ampliamente en el taller realizado en CATIE, Marzo del 2005.

2.5 Mejoramiento genético convencional

El rendimiento promedio de las plantaciones en América Latina es de 300 kg/ha/año, en tanto que en África es de 400 kg/ha/año. Estos bajos niveles de producción en gran parte se deben al gran impacto que tiene el ataque de enfermedades y plagas, que reducen los rendimientos en un 50% y un 21%, respectivamente (ICCO 2001). Por esta razón, los programas de mejoramiento genético de cacao están básicamente orientados a conseguir cultivares resistentes a enfermedades y altamente productores.

Existen diferentes estrategias de mejoramiento genético, siendo las más frecuentes en cacao: (1) selección de clones, la cual ha sido empleada desde los años 1940. Consiste en propagar vegetativamente individuos superiores seleccionados a partir de una descendencia híbrida y (2) selección de familias de origen sexual, técnica muy empleada que consiste en la creación de descendientes F1 o híbridos de clones que son empleados como progenitores de semilla híbrida, con los cuales se espera una fuerte heterosis para el rendimiento, vigor y precocidad (Lanaud 1987).

El mejoramiento genético por cualquiera de estos métodos trae consigo ventajas y desventajas. Así el uso de clones permite aumentar la homogeneidad de las plantaciones y su rendimiento, pero tiene un costo inicial alto y requiere de un nivel tecnológico para el manejo de las plantaciones que muchas veces no está al alcance de los agricultores. En la selección de familias sexuales el ciclo de selección toma muchos años para elegir individuos que posean muchas características deseables y los descendientes son muy heterogéneos por el alto grado de heterogeneidad de sus padres (Lanaud 1987).

2.6 Parámetros de rendimiento

Los programas de mejoramiento genético usualmente enfocan su investigación hacia la selección de los materiales en cuanto a su rendimiento, número de frutos producidos por árbol, número de semillas y peso seco de las mismas por mazorca (Jacob y Atanda 1975).

2.6.1 Número de frutos por árbol

Autores como Cheesman y Pound (1932), indican que el número de mazorcas presentes, no es un buen indicador del rendimiento, debido a que muchas mazorcas de algunos árboles producen más cacao que otras. Sin embargo, otros afirman que este parámetro es una medida relativamente confiable para estimar la capacidad de producción de un material, porque existe una pequeña correlación entre el peso seco de la semilla y el número de mazorcas presentes en el árbol (Esquivel y Soria 1967).

2.6.2 Peso del fruto

Muchos estudios han determinado que el peso promedio de las mazorcas depende del tamaño y forma de las mismas. Usualmente, el peso de la mazorca tiene una correlación directa con el peso y número de semillas presentes en el fruto (Ruinard 1961). Existe también una correlación directa entre el peso seco del cacao y el número de semillas presentes en el fruto (Jacob y Toxopeus 1971; Bartley 1971).

2.6.3 Índice de mazorca

Se define como el número de mazorcas necesarias para obtener un kilogramo de cacao seco y fermentado (IPGRI 2000). Este índice es una medida indirecta del tamaño de las mazorcas en función de su peso seco y es una variable de tipo cuantitativo (Esquivel y Soria 1967).

El índice de mazorca está influenciado por factores genéticos y ambientales. Por ejemplo la edad temprana o senil de la planta y otros como la localización de los frutos en el árbol y las condiciones de suelo y fertilidad afectan los resultados (Soria 1966). Por esta razón es importante determinar el tamaño de muestra mínima para determinarlo apropiadamente. Algunos autores indican que un mínimo de 30 frutos es suficiente (Cheesman y Pound 1934), en tanto que el IPGRI (2000) propone 20 mazorcas.

2.6.4 Índice de semilla

Está definido como el peso promedio en gramos de 100 semillas secas y fermentadas (IPGRI 2000). Es común que se descarten los materiales que registren un peso inferior a 1,1 gr. Existe una alta variabilidad entre genotipos con relación a este índice, por ejemplo, los cacaos de tipo Trinitario presentan un índice de semilla bajo con relación a los cacaos de tipo forastero. En algunos casos se ha informado que la semilla proveniente de los frutos que son de forma amelonada presentan un rango de variación de 0,9 a 1,3 gr (Soria 1966; Atanda y Jacob 1975).

2.6.5 Índice de rendimiento

Este es un índice agronómico para seleccionar árboles individuales. Se define como la relación que existe entre la producción y el vigor de la planta. Se calcula por medio del cociente resultante entre el acumulado de la producción de cacao seco y fermentado en un tiempo definido y el diámetro de la planta. Este índice es afectado por factores tales como el manejo de la plantación, la poda, la densidad de siembra y la variabilidad genética de los árboles (IPGRI 2000; Eskes 2005).

2.6.6 El vigor en las plantas

Como el índice de producción depende del vigor de la planta es indispensable conocer este carácter agronómico porque permite hacer recomendaciones sobre la densidad de siembra y poda de los árboles. El vigor se define como la capacidad que tienen los árboles para producir en el medio que se desarrollan. Este carácter está determinado tanto por condiciones ambientales tales como fertilidad, temperatura y precipitación; así como factores hereditarios que relacionan el tamaño y forma de los árboles. Por esta razón el vigor debe de ser considerado un parámetro de selección, debido a que refleja la eficiencia del rendimiento de cada uno de los árboles dentro de una plantación (IPGRI 2000).

IPGRI (2000), propone determinar este carácter en función de una escala visual que va de 1 a 5, como de menor a mayor vigor respectivamente al evaluar los árboles en el campo. Sin embargo, la relación existente entre el índice de producción y este se define como que valores intermedios (2 y 3) son los óptimos y tiene una correlación directa en la producción y el rendimiento.

2.7 Beneficio del cacao

En el cultivo de cacao el beneficio constituye parte fundamental y decisiva para obtener buena calidad del grano, y permitir su correcta comercialización en el mercado nacional e internacional. El precio del producto y la rentabilidad del cultivo se incrementan con un buen beneficio, labor que representa entre el 15 y el 20% de los costos directos de producción (ICCO 1991; CCI 1991).

Con un beneficio adecuado se desarrollan en la almendra los principios fundamentales del sabor, el aroma y la calidad, lo que determina en gran medida su condición de finos y aromáticos, es decir la calidad del producto final. La obtención de cacao de alta calidad exige que se cumpla con una serie de requisitos que se inician con la escogencia del sitio de siembra y los suelos que lo caracterizan, hasta la aplicación de una tecnología postcosecha adecuada y precisa. Las actividades que se realizan a la hora de llevar acabo el beneficio son:

- a) Recolección:** siendo esta una de las fases importantes del proceso, se debe hacer la identificación de las mazorcas maduras, debido a que estas otorgan los sabores innatos del chocolate.

- b) Partida y desgrane de las mazorcas:** es de gran importancia evitar causar daños mecánicos a las almendras, pues quedarán predispuestas al ataque de hongos e insectos, y los granos que lleguen al final del proceso, presentarán un aspecto defectuoso que alterará la calidad del producto.

- c) Fermentación:** proceso que comprende la eliminación de la baba o mucílago del cacao y la formación, dentro de la almendra, de las sustancias precursoras del sabor y aroma

del chocolate. Durante el proceso, la acción combinada y balanceada de temperatura, alcoholes, ácidos, pH y humedad matan el embrión. La duración del sistema de fermentación depende de la variedad, y por ejemplo no debe ser mayor de tres días para los cacaos "Criollos" y de ocho días para los cacaos "Forasteros".

d) Secado: proceso durante el cual las almendras terminan de perder el exceso de humedad que contienen y están listas para ser comercializadas.

e) Clasificación: en donde existen normas que se aplican a los granos de cacao o almendras una vez terminado el proceso del Beneficio para tipificarlos según su calidad, para esto se toma una muestra de cacao al azar y se cortan los granos longitudinalmente.

En cuanto a los parámetros de calidad del cacao se pueden contemplar de dos tipos: (1) Las características físicas como tamaño, peso, grosor de cáscara, color, contenido de grasa y (2) Las características organolépticas de las almendras que están otorgadas por el sabor, el cual está determinado por el gusto y el aroma, y estos aspectos dependen de los efectos combinados del genotipo, de los factores edafoclimáticos, del manejo agronómico recibido en la plantación y de la tecnología postcosecha utilizada (Sukha *et al.* 2002; Gutierrez 1985).

Las principales características de calidad de los cacaos comerciales de los países productores más importantes se pueden apreciar en el Cuadro 1. La industria chocolatera internacional realiza mezclas de los diferentes tipos de cacao que adquiere, con el fin de poder obtener los gustos específicos con los cuales se identifican los diferentes productos que se colocan en el mercado. Sin embargo no siempre están acordes entre ellos mismos con respecto a cuál es la mejor mezcla, puesto que cada uno genera un producto característico muy definido, para el cual existe una demanda del consumidor, ya identificada con lo que requiere.

En la elaboración agroindustrial se emplean diversos tipos de cacao que poseen características físicas y químicas muy especiales que determinan su utilización final. De tal forma que las industrias chocolateras utilizan mayormente el denominado cacao

básico, aunque en una menor proporción se suplen de tipos finos y en otros casos cuando se requiere producir manteca de cacao, se emplean cacaos que poseen un alto contenido de grasa.

Cuadro 1. Características de las almendras de diferentes orígenes.

País	Clasificación comercial	Calidad considerada
Brasil	Tipo I	Superior. Enormes diferencias regionales en calidad
Costa Rica	Tipo II	Bueno a bastante bueno. Algunas veces de gusto ahumado-Secado al sol o mecánico Calidad promedio
R. Dominicana	Cacao Sánchez	Mayormente no fermentado. Sabor insípido
Ecuador Arriba		Gusto fino
Guinea Ecuatorial	Superior	Semillas de gran tamaño. Alto contenido de grasa. Sabor astringente y ácido
Ghana	Superior	Bien fermentado Buen sabor dentro de los tipos básicos
Indonesia:		
Java Oriental	Semillas grandes	Sabor suave
Java Occidental		Sabor ordinario
Costa de Marfil	Bien fermentado	Buen sabor variable. Astringente
Malasia	Clasificación complicada	Alto contenido de concha. Ligeramente ácido
México	Fermentado	Gusto variable
Nigeria:	Lagos bien fermentado	Buen sabor básico
Trinidad y Tobago	Cacao producido en grandes cantidades y vendido bajo diferentes tipos de marcas	Sabor mediano. Ligeramente aromático
Venezuela:		
Puerto Cabello		
Carenero	Superior	Buen gusto. Sabores moderados dependiendo del origen
La Guaira		
Carúpano		
Río Caribe		

Fuente: Cacao, Guía del Negociante, OIC (1987).

2.7.1 Factores modificantes de la calidad en cacao

Existen cinco factores que determinan la calidad de la almendra de cacao: (1) el genotipo; (2) el clima; (3) los suelos donde se cultiva; (3) el manejo agronómico y fitosanitario que se ofrezca a la plantación y (5) la tecnología que se emplee para el beneficio.

2.7.1.1 Influencia del genotipo

Generalmente se le atribuye mayor importancia al manejo agronómico y a las condiciones edafoclimáticas, que al papel que juega el genotipo sobre la calidad. Esto es posible porque anteriormente no se habían realizado técnicas que permitiesen evaluar el comportamiento de un determinado material vegetal, proveniente de diferentes zonas cacaoteras, pero manejado en forma similar agronómicamente, en relación con la calidad de la almendra o de genotipos de distintos orígenes bajo manejo agronómico y tecnología poscosecha similares. Actualmente, estudios enfocados bajo estas técnicas han permitido establecer las bases utilizadas para definir cuáles variedades de cacao deben utilizarse y bajo qué condiciones para producir la materia prima que la industria exige (ICCO 1999; CCI 1991).

Estudios realizados por De Witt (1954), y Clapperton *et al.* (1994) han demostrado que los efectos del sabor pueden ser reproducibles, utilizando condiciones controladas en el proceso de tecnología poscosecha. Uno de los hallazgos más interesantes de estas investigaciones se refiere a que existen ciertos tipos de criollos como los Porcelana y criollos de Mérida (Venezuela), que una vez beneficiados adecuadamente, producen granos con sabores bien desarrollados.

Mientras que criollos provenientes de Nicaragua como el UF 676 y el ICS 39, a pesar de recibir una buena tecnología poscosecha, producen valores de sabor muy pobres. Asimismo, se ha podido demostrar que algunos tipos forasteros amazónicos como él Nanay 32 y los Scavina 6 y 12 pueden clasificar como materiales de una alta intensidad de sabor, tan buena como la de los delicados y excelentes sabores bien reconocidos de los tipos "Arriba ecuatorianos". Estas investigaciones también corroboran que la herencia

de la calidad establece que los cruces entre clones de alta calidad aseguran la obtención de tipos de cacao finos; en otras palabras, que la calidad se hereda cuando se combinan cultivares que la poseen.

a) Características de las almendras afectadas por el genotipo: El Peso de la almendra es un carácter que se hereda genéticamente, así como la existencia de cultivares de semilla grande y cultivares de semilla pequeña. No obstante los factores climáticos influyen en la manifestación de este carácter. La relación entre el peso del cotiledón y el de la semilla debe ser tan alta como sea posible (Sukha *et al.* 2002).

a) Porcentaje de testa o cascarilla: Varía de acuerdo con el genotipo del cacao, desde 6 hasta 16%, y tiene gran significación para la calidad del producto ya que no tiene ningún uso industrial y es un desecho del proceso industrial (Sukha *et al.* 2002).

c) Contenido de grasa: Está influenciado por el genotipo y puede variar entre 48 y 60%. El nivel de precipitaciones recibidas por la planta influye también en el contenido de la grasa (Sukha *et al.* 2002).

d) Dureza de la manteca: Es una condición requerida por la industria chocolatera para la elaboración de chocolates de leche. Está influenciada por las temperaturas ocurridas durante la maduración del fruto (Sukha *et al.* 2002).

e) Sabor del cacao: Este se relaciona mucho con el proceso de tostado de las almendras, debido a que allí se da el gusto y el aroma. Estos parámetros van de acuerdo a los requerimientos del chocolatero, quien demanda el tipo de almendra de acuerdo con el tipo de producto que elabora. El sabor, además de estar influenciado por el genotipo, depende de la tecnología postcosecha que se utilice. Pruebas recientes (Clapperton 1994), han demostrado que la denominada prefermentación, que consiste en almacenar los frutos durante varios días después de cosechados (cinco a diez días), origina dentro del fruto una serie de procesos bioquímicos, alguno de los cuales permiten mejorar el sabor de las almendras luego que éstas sufren el proceso de fermentación (Sukha *et al.* 2002).

2.7.1.2 Influencia de las condiciones edafoclimáticas

Existen diversos factores edafoclimáticos que determinan cualidades importantes de la calidad, tales como son: la temperatura, el área de cultivo y la fertilidad del suelo entre otros. Por ejemplo, el peso de la semilla de determinados cultivares está determinado por el área o zona de cultivo. Mientras que el período de formación de los frutos, su maduración, el tamaño de las semillas y el contenido de manteca de la almendra, son afectados por la temperatura. De esta forma, entre más altas sean las temperaturas la dureza de la manteca se ve más afectada, debido a que el punto de fusión de la manteca de cacao se alcanza a los $34 \pm 1^\circ \text{C}$ y la dureza depende de la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados. Si esta proporción es baja, el punto de fusión es bajo y por ende resultan mantecas más blandas. De igual forma la fertilidad del suelo puede tener influencia sobre el tamaño de la semilla, donde los suelos fértiles producen semillas de mayor tamaño que las producidas en suelos pobres.

2.8 Caracterización morfológica

En la identificación de especies, familias y géneros de plantas los caracteres morfológicos han sido muy usados, constituyéndose estos en una herramienta útil e indispensable para realizar numerosos estudios en genética de poblaciones y agricultura (Falconer 1981). La mayoría de las plantas cultivadas con importancia económica tienen sus propios patrones de identificación, caracterización y evaluación, que se han logrado establecer mediante diferentes estudios que permiten conocer la variabilidad de los caracteres dentro y entre plantas; de tal forma que se ha llegado a seleccionar todas aquellas características cualitativas y cuantitativas que son más útiles y fáciles de interpretar para la descripción de los individuos en una población. Empleando los caracteres morfológicos bien sean dominantes y/o recesivos se puede llegar a establecer diferentes niveles de variabilidad (Enríquez 1966).

La caracterización se define como la descripción de la variación que existe en una colección de germoplasma y que permite diferenciar a las accesiones de una especie, sea en términos de características morfológicas y fenológicas de alta heredabilidad ó

características cuya expresión es poco influenciada por el ambiente (Abadie y Berretta 2003). Para la descripción morfológica de las plantas cultivadas generalmente se emplean órganos que están menos influenciados por el ambiente como son las flores y los frutos; le siguen en importancia otros como las hojas, troncos, ramas, raíces y los tejidos celulares que muchas veces son muy difíciles de caracterizar (Enríquez 1997).

Para la caracterización morfológica se utilizan descriptores que deben reunir las siguientes características: (1) ser fácilmente observables; (2) tener alta acción discriminante y baja influencia ambiental, lo que permite registrar la información en los sitios de colecta; (3) ser uniformes ya que la uniformidad de los descriptores es un parámetro indispensable porque esto hace que la caracterización tenga un valor universal, es por eso que se emplean listas de descriptores bien definidos y rigurosamente probados que simplifican considerablemente todas las operaciones de registro de datos, actualización, modificación, recuperación de información, intercambio, análisis y transformación de datos (Abadie y Berretta 2003).

La caracterización sirve para múltiples usos tales como: proporcionar un mejor conocimiento del germoplasma, permitir identificar duplicados, permitir identificar genotipos faltantes en las colecciones que facilitan la planificación de nuevas colectas e introducciones; permitir el establecimiento de colecciones núcleos (Valls 1989).

Dentro de los caracteres morfológicos que definen las características del género *Theobroma* existen diversas instituciones que han propuesto una lista de descriptores morfológicos para la identificación y evaluación del germoplasma de cacao. Por ejemplo el IBPGR ha seleccionado 65 descriptores, en tanto que Phillips y Enríquez (1988), propusieron una lista corta de 26 descriptores morfológicos y el CIRAD emplea 24 descriptores para la caracterización. Los descriptores se han ido modificando dependiendo del fin de la investigación y se han ido empleando desde la década pasada para caracterizar germoplasma de las colecciones en diferentes centros de investigación tales como el CATIE, el ICGT y el ICGD entre otros (IPGRI 2000).

No obstante existen parámetros que son fundamentales a la hora de hacer la selección de los descriptores para caracterizar fenotípicamente las colecciones de germoplasma. Por

ejemplo Pound (1932) señaló que algunas características de la flor y la semilla son de suma importancia en la caracterización de clones de cacao, lo cual fue confirmado más adelante por Dejean (1948) y Ostendorf (1965), quien propuso que los pétalos, el pistilo y el número de óvulos por ovario son los mejores descriptores para caracterizar clones. De igual forma Enríquez y Soria (1967) propusieron una lista de 11 caracteres para la evaluación de las flores, estos descriptores fueron confirmados una vez más por Engels (1983), Bartley (2000) y Enríquez (1980), y actualmente muchos de los allí propuestos son los más empleados en la caracterización de germoplasma para cacao.

Es de gran importancia rescatar el trabajo de Stockdale (1928), quien llevó acabo los primeros estudios para las semillas empleando la base del largo, ancho y espesor, para así describir poblaciones de cacao. Pound (1932) aduce que los tamaños en las semillas varían mucho y se requiere de muestras muy grandes para la estimación pero aportó que el peso seco de las almendras es de los parámetros más confiables para la descripción morfológica de las poblaciones.

2.9 Compatibilidad

Es un parámetro que depende de la genética (segregación) y es de suma importancia conocerlo en los genotipos de cacao, porque permite establecer plantaciones comerciales y/o enfocar los trabajos en los Programas de Mejoramiento Genético, debido a que el rendimiento y la productividad dependen en muchos de los casos de agentes polinizadores, autopolinización y/ polinización cruzada, que a su vez dependen de factores tales como las condiciones ambientales (luz, calor y humedad), el agente polinizador y la formación del tubo polínico (López 1982; Enríquez 2004). La mayoría de las selecciones de los materiales poseen esta característica y benefician la cruce entre ellos, o el ser autocompatibles permiten que la descendencia se pueda cruzar libremente entre ellos. Es interesante apreciar que híbridos de alto rendimiento y resistencia a enfermedades poseen generalmente características de autoincompatibilidad y esto puede llegar a afectar plantaciones que no tengan una diversidad genética dentro de ellas (Enríquez y Cabanilla 1969).

Existen múltiples teorías acerca de la autoincompatibilidad y se fundamentan en que muchas de ellas dependen de una serie de álelos múltiples (S), de un locus simple y que son dominantes e independientes, por lo tanto la compatibilidad la determina un gen recesivo S_0 (Knight y Rogers 1955).

Sin embargo, el estudio de Cope (1962) demuestra que debe existir un sistema multialélico que esta conformado por tres loci independientes, que muestran una relación complementaria. Donde el locus S y los otros llamados A,a y B,b, segregan una sustancia precursora no específica para la incompatibilidad en el género en estudio. Explicando que dicha sustancia provoca la no fusión de los gametos en el saco embrionario, por lo tanto los álelos A y B que son dominantes influyen sobre los álelos de S que están en óvulo y no permiten la expresión del recesivo. Por otro lado Coral y Soria (1972), proponen que la compatibilidad es complementaria y que dependen de la adición de genes complementarios denominados X y Z, los cuales segregan independiente y sugieren que las cruza autocompatibles podrían ser de 50, 75 y 100%.

Muchos de los estudios y teorías propuestas indican que la baja productividad en las plantaciones comerciales se debe a que no hay una polinización efectiva, y que esto a su vez depende de las condiciones favorables para este evento (Martín 1982). López (1982) considera que un material es autocompatible si al menos un 2% de sus flores logran su prendimiento, autores como Barthley *et al.* (1973), hablan de un 5% de prendimiento, sin embargo, consideran que el prendimiento debe de ser superior o igual a un 30%. Estas evaluaciones deben realizarse en el campo después de los 10 ó 15 días realizada la polinización para corroborar el prendimiento, ya que según Vera (1969) la caída de las flores autopolinizadas inicia a los tres días y es mucho mayor en el día siete.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Generalidades del estudio

Esta investigación se realizó de octubre 2003 a octubre 2004. Los genotipos superiores de cacao evaluados (en la misma) pertenecen a tres ensayos de campo establecidos en la Finca Experimental “La Lola”. La Lola pertenece al CATIE y está ubicada en Matina, Provincia de Limón, Costa Rica entre los 10° 06’ de latitud Norte y 83° 23’ de longitud Oeste. Se encuentra a una altitud de 40 msnm y posee una temperatura anual promedio de 25° C, humedad relativa de 91%, precipitación mensual promedio de 224 mm y radiación solar de 17,4 horas (CATIE 2004).

La evaluación de los materiales se llevó a cabo en diferentes fases, las cuales se desarrollaron tanto en La Lola como en las instalaciones del CATIE, ubicadas en la Provincia de Cartago, Cantón de Turrialba entre los 9° 52’ de latitud Norte y 83° 38’ de longitud Oeste. Turrialba está a 602 msnm y posee una temperatura anual promedio de 22° C, humedad relativa de 87.7%, precipitación mensual promedio de 224,2 mm y radiación solar de 18,8 horas (CATIE 2004). Las cinco fases en que se dividió el estudio fueron:

a) Caracterización morfo-fisiológica de los genotipos: Se desarrolló de octubre del 2003 a julio del 2004, a partir de frutos obtenidos de los árboles seleccionados en los tres ensayos. Las variables fueron determinadas en La Lola o en la Finca “La Montaña” del CATIE a partir de muestras frescas. Los parámetros de semilla se determinaron en el Laboratorio de Biotecnología del CATIE.

b) Determinación de los índices de fruto y semilla y preparación de muestras para pruebas de calidad: Se realizó de octubre del 2003 a julio del 2004, sin embargo los primeros tres meses se usaron para ajustar la metodología. La fermentación de las muestras se efectuó en La Montaña o en el área de Cabiria, en tanto que el secado y preparación de las mismas se hizo en las instalaciones del Banco de Semillas del CATIE.

Las pruebas de calidad fueron realizadas por la compañía Guittard Inc. en Burlingame, California, USA, para lo cual se enviaron muestras en febrero y mayo del 2004.

c) Determinación del vigor y del estado general de los árboles superiores: se determinó *in situ* en La Lola los días 13 y 20 de mayo del 2004.

d) Evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora*: Se realizó del 28 de mayo hasta 28 de julio del 2004 en el Laboratorio de Raíces del CATIE a partir de frutos obtenidos en La Lola.

e) Determinación de la autocompatibilidad: Las polinizaciones artificiales para determinar la compatibilidad de los genotipos se llevaron a cabo desde el 6 julio hasta el 15 de octubre del 2004 en La Lola.

3.2 Material experimental

El material experimental evaluado en este estudio corresponde mayormente a genotipos seleccionados por el Programa de Mejoramiento Genético del CATIE a partir de los siguientes ensayos de campo sembrados en La Lola hace 6-8 años:

a) Ensayo de 56 híbridos (L4): este ensayo fue establecido en 1997 en La Lola. Ocupa 2 hectáreas bajo sombra de banano “Gros Michel” (*Musa AAA*) y zapote (*Pouteria zapota*). El experimento fue plantado bajo un diseño de bloques completamente al azar. Posee 56 híbridos, cuatro repeticiones por cruce y ocho plantas por repetición (pseudoréplicas). Cada cruce tiene un padre resistente a *M. rozeri* y el otro padre aporta una o varias de las siguientes características: resistencia a mazorca negra (*Phytophthora palmivora*), mal de machete (*Ceratocystis fimbriata*) o escoba de bruja (*Crinipellis pernicioso*), alta producción o autocompatibilidad.

b) Ensayo de 28 híbridos (L5): tiene 1 hectárea de extensión y posee las mismas características que el ensayo anterior. La diferencia más notable es que 21 cruces de este ensayo fueron sembrados en 1998 y los restantes en 1999.

c) Experimento de 42 clones superiores (L6): este ensayo posee 1,5 hectáreas de extensión. La mayoría de los materiales (35) fueron sembrados entre 1998 y 1999, los restantes en el periodo 2000-2001. Los clones están sembrados bajo un diseño de bloques completamente aleatorizado, con 4 réplicas y 8 plantas por unidad experimental. Algunos de los clones incluidos el ensayo procede de árboles individuales seleccionados a partir de otros ensayos de campo por poseer alguna característica notable, principalmente resistencia a moniliasis.

La mayoría de los genotipos incluidos en este estudio corresponde a árboles individuales que mostraron un comportamiento notable durante 4 ó 5 años de evaluación, registrando producciones promedio cercanas o superiores a 1000 kg/ha/año (estimaciones hechas con base en el conteo mensual de frutos) e incidencias a moniliasis inferiores al 30%. Estos árboles pertenecen a los siguientes ensayos: 60 árboles al Ensayo de 56 híbridos (L4) y 18 árboles al Ensayo de 28 híbridos (L5) (Cuadro 2).

El material experimental también incluyó 25 clones ya establecidos, algunos de los cuales son selecciones previamente hechas por el CATIE debido a su alta resistencia a moniliasis y/o buena producción (Cuadro 3). Casi todos los clones estudiados se obtuvieron a partir del Experimento de 42 clones superiores, excepto dos de ellos (CC-124 y Catongo) cuyas muestras fueron tomadas de la Colección Internacional de Cacao del CATIE.

Cuadro 2. Origen de 78 árboles individuales evaluados para esta investigación.

Genotipo	Experimento de Origen	Genotipo	Experimento de Origen
CATIE-R8	L4 ^{1/}	CATIE-R56	L4
CATIE-R9	L4	CATIE-R57	L4
CATIE-R10	L4	CATIE-R58	L4
CATIE-R11	L4	CATIE-R59	L4
CATIE-R12	L4	CATIE-R60	L4
CATIE-R14	L4	CATIE-R61	L4
CATIE-R15	L4	CATIE-R62	L4
CATIE-R16	L4	CATIE-R63	L4
CATIE-R17	L4	CATIE-R64	L4
CATIE-R18	L4	CATIE-R66	L4
CATIE-R20	L4	CATIE-R67	L5 ^{2/}
CATIE-R22	L4	CATIE-R68	L5
CATIE-R23	L4	CATIE-R69	L5
CATIE-R24	L4	CATIE-R72	L5
CATIE-R26	L4	CATIE-R76	L5
CATIE-R27	L4	CATIE-R78	L5
CATIE-R28	L4	CATIE-R80	L5
CATIE-R29	L4	CATIE-R81	L5
CATIE-R30	L4	CATIE-R82	L5
CATIE-R31	L4	CATIE-R83	L5
CATIE-R32	L4	CATIE-R84	L5
CATIE-R33	L4	CATIE-R85	L5
CATIE-R35	L4	CATIE-R87	L5
CATIE-R36	L4	CATIE-R88	L5
CATIE-R37	L4	Catie-1000x CC-137 A ^{3/24}	L4
CATIE-R38	L4	CC-252 x SCA-6 27 A27	L4
CATIE-R39	L4	CC-252 x UF-273 A7	L4
CATIE-R41	L4	CC-252 x UF-273 A30	L4
CATIE-R44	L4	CC-252 x UF-273 A31	L4
CATIE-R45	L4	EET-75 x Catie1000 A28	L4
CATIE-R46	L4	EET-75 x Catie1000 A30	L4
CATIE-R47	L4	ICS-95 x Catie1000 A20	L4
CATIE-R48	L4	ICS-95 x UF-273 A8	L4
CATIE-R49	L4	PA-169 X UF-273 A13	L5
CATIE-R50	L4	UF-273 x Catie-1000 A26	L4
CATIE-R51	L4	UF-273 x CC-137 A2	L4
CATIE-R52	L4	UF-273 X P-23 A6	L5
CATIE-R55	L4	UF-273 x POUND-7 A6	L4
		UF-273 x SCA-6 A22	L4
		UF-712 X ARF-37 A25	L5

^{1/}= Experimento de 56 híbridos.

^{2/}= Experimento de 28 híbridos.

^{3/}= Número del árbol en el experimento original.

Cuadro 3. Clones de cacao evaluados en el presente estudio (25 clones en total).

Nombre del clon	Origen	Principal Característica
CATIE-R1	L3 (Árbol 32/8)	Resistente a moniliasis
CATIE-R2	L3 (Árbol 1/10)	Resistente a moniliasis
CATIE-R3	L3 (Árbol 32/10)	Resistente a moniliasis
CATIE-R4	L3 (Árbol 27/14)	Resistente a moniliasis
CATIE-R5	L3 (Árbol 36/14)	Resistente a moniliasis
CATIE-R6	L3 (Árbol 44/14)	Resistente a moniliasis
CATIE-R7	T3 (Árbol 5, Rep 2, Hib. UF 712 x CATIE 1000)	Resistente a moniliasis
ARF-6	Área de Recursos Genéticos del CATIE, Costa Rica	Moderadamente resistente a <i>P. palmivora</i>
ARF-22	Área de Recursos Genéticos del CATIE, Costa Rica	Moderadamente resistente a <i>P. palmivora</i>
Catongo	Brasil	Buena producción. Susceptible a moniliasis
CC-124	Centro Cacao, La Lola, Costa Rica	Moderadamente resistente a <i>P. palmivora</i>
CC-137	Centro Cacao, La Lola, Costa Rica	Buena producción. Tolerante a moniliasis
CC-252	Centro Cacao, La Lola, Costa Rica	Buena producción. Tolerante a moniliasis
CCN-51	Ecuador	Alta producción. Susceptible a moniliasis
EET-183	Ecuador	Buena producción. Tolerante a moniliasis
GU-133N	Guyana	Alta producción
ICS-43 (red)	Trinidad?	Resistente a moniliasis
ICS-95	Trinidad	Buena producción. Resistente a moniliasis
Pa-169	Brasil	Resistente a moniliasis
PMCT-58	Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales del CATIE	Tolerante a moniliasis
POUND-7	Perú	Alta producción. Susceptible a moniliasis
SCA-6	Ecuador	Resistente a escoba de bruja
SGU-84	Selección Guatemala	Tolerante a moniliasis
UF-273 Tipo 1	United Fruit Co. Selection, Costa Rica	Resistente a moniliasis
UF-273 Tipo 2	Origen desconocido	Susceptible a moniliasis

3.3 Caracterización morfo-fisiológica

La caracterización morfo-fisiológica se llevó a cabo para los 73 árboles individuales y 19 clones que contaron con suficiente material vegetal durante el periodo del estudio. Los árboles individuales que no fue posible evaluar debido a que no se conto con disponibilidad de frutos en el campo fueron: CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60, CATIE-R77 y “CATIE-1000 x CC-137 árbol 25”. Los clones no evaluados fueron: CATIE-R3, ARF-6, ARF-22, CC-252 y GU-133N.

3.3.1 Selección de los parámetros morfo-fisiológicos

Como se describirá a continuación en este estudio se evaluaron diferentes parámetros morfo-fisiológicos relacionados con el fruto y la semilla, poniendo particular énfasis en aquellos con importancia agronómica. Se evaluaron parámetros cuantitativos y cualitativos, seleccionados a partir de la lista original de descriptores morfológicos del IPGRI (2000) y Engels (1981).

3.3.2 Caracterización morfo-fisiológica de los frutos

Los frutos fueron cosechados mensualmente en La Lola, agrupados según su genotipo de procedencia y rotulados individualmente con un lápiz. Dependiendo de la disponibilidad de tiempo, algunos de los parámetros fueron evaluados en el mismo lugar de cosecha. Los frutos que no se evaluaron en el campo fueron transportados el mismo día en sacos de yute a Turrialba, donde finalmente se efectuaron las evaluaciones. Los instrumentos y materiales empleados para la toma de datos fueron: Vernier ó Pie de Rey, balanza de precisión marca Pelouze (± 1 gr por cada 2 kg), regla graduada, etiquetas y formulario de datos para la caracterización morfo-fisiológica de genotipos superiores.

Diez parámetros fueron evaluados: color, peso, largo y diámetro del fruto, espesor del caballete y profundidad del surco, forma del ápice, constricción basal, rugosidad y dureza del mesocarpo (Cuadro 4). La Figura 1 muestra la forma en que se evaluaron algunas de estas variables.

Cuadro 4. Descriptores morfo-fisiológicos utilizados para la caracterización de frutos de genotipos superiores.

Descriptor morfológico	Criterio
Color del fruto maduro	1= Amarillo; 2= Rojo.
Peso (gr)	Peso promedio de la mazorca luego de cosechada.
Largo (cm)	Distancia lineal entre los extremos del fruto.
Diámetro (cm)	Se midió en la parte intermedia de la mazorca.
Forma (Figura 2)	1= Angoleta; 2= Amelonado; 3= Cundeamor; 4= Calabacillo
Espesor del caballete (cm) (Figura 2)	Medido en la parte más sobresaliente de uno de sus lobulos.
Profundidad del surco (cm) (Figura 2)	Medida en la parte más profunda de uno de sus lobulos.
*Forma del ápice (Figura 2)	1= Puntigudo; 2= Agudo; 3= Obtuso; 4= Redondeado; 5= Pezón; 6= Dentado.
*Constricción basal (Figura 2)	0= Ausente; 1= Escaso; 2= Intermedio; 3= Bien marcado; 4= Muy ancho
*Rugosidad del mesocarpo	0= Lisa o ausente; 5 =Intermedia; 7= Áspera
*Dureza del mesocarpo	3= Suave; 5= Intermedio; 7= Duro.

*Tomado del catalogo de la Unidad de Recursos Genéticos de Cacao Engels (1981)

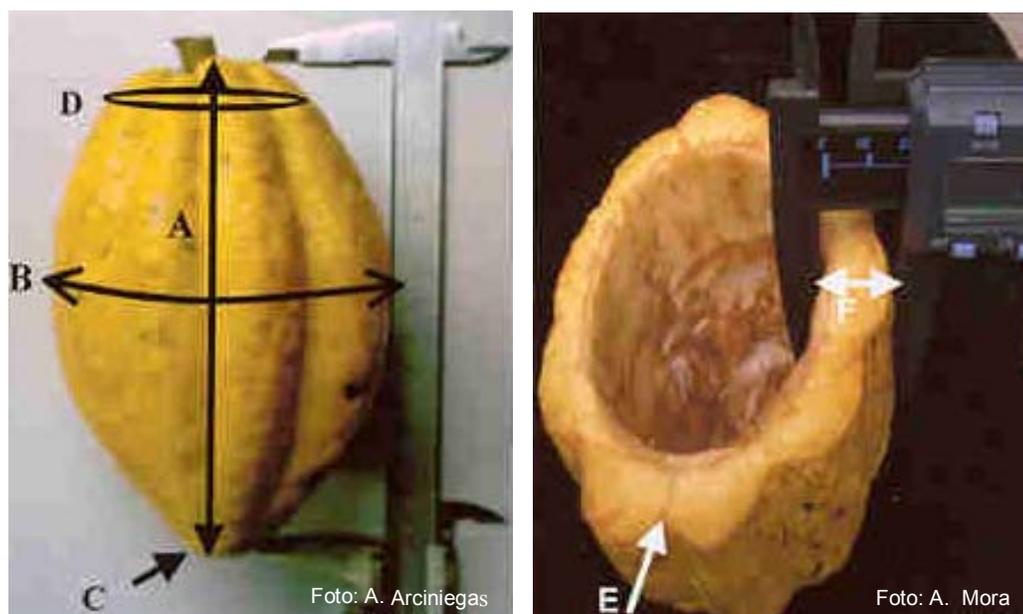


Figura 1. Descriptores morfológicos del fruto evaluados: **A.** Largo del fruto (cm). **B.** Diámetro del fruto (cm). **C.** Forma del ápice. **D.** Constricción basal. **E.** Profundidad surco (cm). **F.** Espesor del caballete (cm).

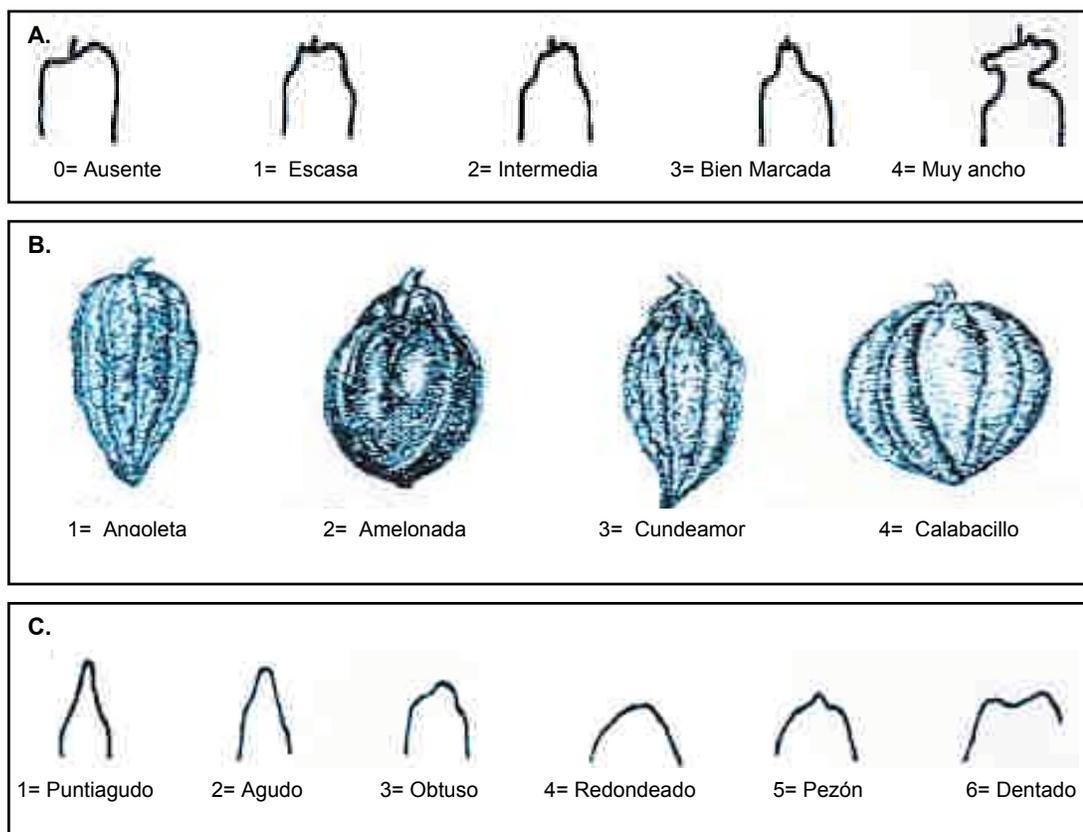


Figura 2. Descriptores morfológicos: **A.** Forma de la constricción basal. **B.** Forma de las mazorcas. **C.** Forma del ápice.

3.3.3 Caracterización morfo-fisiológica de las semillas

A los frutos indicados en el acápite anterior, se les contó individualmente la cantidad de semillas íntegras y vanas que contenían, se determinó el peso fresco de estas semillas (Cuadro 5). Luego se sacó una muestra al azar de 5 semillas hasta completar 30 por genotipo para determinar los parámetros que se indicarán a continuación, tras lo cual las restantes semillas fueron fermentadas para posteriormente ser secadas en una cámara de aire caliente a 36 ± 2 °C (ver procedimientos en secciones 3.4.1 y 3.4.2) para determinar el peso seco de las mismas, el cual fue ajustado considerando las semillas extraídas.

Cuadro 5. Parámetros morfo-fisiológicos utilizados para la caracterización de las semillas de genotipos superiores.

Descriptor	Observación
Número de semillas por fruto	Número de semillas íntegras y vanas presentes.
Peso fresco de las semillas por fruto (gr)	Las semillas se pesaron con mucílago pero sin placenta. No se registró el peso de las semillas vanas.
Peso seco de las semillas por fruto (gr)	Se registro luego de haber realizado la fermentación y secado de las mismas a 36 ± 2 °C

Fuente: La autora

Las 30 semillas se colocaron en una bolsa de manta previamente rotulada, donde su mucílago fue eliminado frotándolas con aserrín de madera, luego se pesaron individualmente y se colocaron en una caja Petri que a su vez fue ubicada dentro de una estufa a 35° C por 96 horas. Esto se hizo para comparar el peso seco de esta muestra pequeña con el obtenido con masas más grandes. Los siguientes parámetros fueron entonces determinados en el laboratorio: color, ancho, largo, espesor (Cuadro 6). En la Figura 3 se muestra gráficamente la forma en que se midieron algunos de estos parámetros.

Cuadro 6. Otros parámetros morfo-fisiológicos utilizados para la caracterización de las semillas de genotipos superiores.

Descriptor	Criterio
Color	Se evaluaron 30 semillas asignándoles: 1= Púrpura, 2= Crema y 3= Café.
Diámetro de la semilla (cm) (Figura 3).	Se midió en la parte más ancha de la semilla.
Largo de la semilla (cm) (Figura 3).	Se midió desde la base del embrión hasta el ápice de la misma.
Espesor de la semilla (cm) (Figura 3).	Se midió sobre la parte más sobresaliente y gruesa de la semilla.

Fuente: La autora



Figura 3. Descriptores cuantitativos utilizados para la caracterización de la semilla: **A.** Largo de la semilla (cm). **B.** Diámetro de la semilla (cm). **C.** Espesor de la semilla.

3.4 Determinación de los índices de fruto y semilla. preparación de muestras para evaluaciones de calidad

Los índices de fruto y semilla fueron estimados con base en los resultados obtenidos en el acápite anterior. Las muestras fermentadas y secas obtenidas por cada genotipo en cada fecha de evaluación, fueron acumuladas en forma separada hasta completar una cantidad suficientemente grande (>300 gr) como para ser enviadas a la compañía Guittard Inc. para sus respectivos análisis de calidad.

3.4.1 Proceso de fermentación

El proceso de fermentación se llevó a cabo en el área de “Cabiria” del CATIE. Los frutos cosechados en cada fecha se agruparon por genotipo, a los que se les extrajo en forma separada las semillas con su respectivo mucílago, evitando incluir la placenta y cualquier otra materia extraña. Cada muestra individual se colocó en una bolsa de manta de 31,5 cm x 21,5 cm de largo y ancho respectivamente que se cerró con una cinta del mismo material. La

muestra se rotuló por dentro y por fuera para evitar confusiones. Se usó el método de caja, que consiste en fermentar la masa dentro de una caja de madera de 80 x 60 x 40 cm de largo, ancho y alto respectivamente, con tres ranuras de 0,5 cm en el fondo del cajón para que escurrieran los líquidos liberados en el proceso. En todos los casos el proceso de fermentación duró 5 días, iniciándose siempre a la misma hora 3:00 pm. El primer día la caja de fermentación se llenó a la mitad con cacao colectado en la Finca “La Montaña” ó en la Colección de Germoplasma del CATIE. Las bolsas con las muestras se colocaron entonces en la parte intermedia de la caja, tras lo cual se cubrieron con cacao. Finalmente, la caja se cubrió con hojas de plátano y sacos de yute para mantener la temperatura dentro del fermentador.

La masa de fermentación así como el contenido de las bolsas se removieron una vez al día, concretamente a los dos, tres y cuatro días después de iniciado el proceso. Durante los cinco días del proceso se midió la temperatura a las 6:00 y 14:00 horas. Para esto se introdujo un termómetro de metal dentro de la masa. Otro termómetro permaneció afuera de la masa para comparar dicha temperatura con la temperatura ambiente para regular todo el proceso. En todas las fechas se utilizó un protocolo uniforme de fermentación el cual se ilustra en la Figura 4.

3.4.2 Secado de las muestras

Concluida la fermentación, las bolsas fueron llevadas al Banco de Semillas del CATIE, en donde se extrajeron las muestras y se colocaron en zarandas de madera de 40 x 60 cm con fondo de malla fina (tamiz de 5 mm) y divididas en seis secciones. En cada sección se colocó una única muestra adecuadamente extendida e identificada. Las zarandas fueron colocadas en una cámara de secado de semillas con flujo de aire caliente (armario de secado CMC Automation) durante cuatro días a $36 \pm 2^\circ$ C. Allí las almendras alcanzaron una humedad relativa ideal de 6,5-7,5%, lo cual se corroboró mediante la prueba de la diferencia entre peso húmedo y peso seco.

Para esta prueba, al inicio del proceso de secado, se tomaron en forma aleatoria tres muestras húmedas de 10 gr cada una por cada genotipo. Se rotularon y se colocaron en un desecador con sílica gel en donde permanecieron 17 horas. Luego las muestras fueron

trituradas y colocadas en un horno a 90° C durante 24 horas. Se utilizó la fórmula para calcular el porcentaje de peso húmedo para determinar la humedad relativa de las muestras. Cada muestra que presentó la humedad relativa ideal, fue finalmente empacada en una bolsa plástica y almacenada en una cámara de incubación a 5° C, donde permanecieron hasta completar el peso (300 gr) requerido para realizar las pruebas de calidad.



Figura 4. Etapas en el proceso de beneficiado: **A.** Cosecha e identificación del material. **B.** Desgrane. **C.** Empaque. **D.** Fermentación en cajones. **E.** Remoción de la masa. **F.** Secado en cámara de aire caliente.

3.4.3 Preparación y envío de las muestras para análisis de calidad

Los genotipos que acumularon un peso igual o superior a los 300 gr de almendras fermentadas y secas, fueron enviados a la Compañía Guittard en Estados Unidos para sus respectivos análisis de calidad.

Cada genotipo contó con una muestra compuesta por 300 gr o más de semillas fermentadas y secas, que se empacaron en tres submuestras de 100 gr ó más de cada una. Se hicieron dos envíos a Guittard, uno en el mes de febrero con 19 genotipos y el otro en el mes de mayo 33 genotipos un total de 52 genotipos fueron analizados, 36 fueron árboles superiores individuales y 16 muestras correspondieron a clones.

Los parámetros de calidad evaluados por Guittard fueron: prueba del corte dada por el porcentaje de color de las semillas, índice de marcas por color de las almendras y fisura del cotiledón, pruebas del tostado, acidez, porcentaje de grasa, calidad organoléptica y valor energético del chocolate.

3.4.4 Determinación de los índices de fruto, semilla y rendimiento

Se determinaron los índices de fruto, de semilla y rendimiento para un total de 94 genotipos de los cuales 73 fueron árboles superiores individuales y 21 clones (incluyendo el Catongo y CC-124). Mientras que el índice de rendimiento se realizó para 71 de los genotipos seleccionados, los cuales correspondieron a árboles individuales. De cada genotipo se extrajeron al azar 100 almendras en las diferentes fechas de fermentación y secado, a las cuales se les determinó el peso seco y mediante este se obtuvo el índice de semilla. El índice de fruto se obtuvo por medio de la relación de la cantidad de mazorcas y el peso en gramos obtenido a partir de ellos, luego de su fermentación y secado. El índice de rendimiento se obtuvo mediante el cociente obtenido del promedio de la producción de cacao fermentado y seco entre el diámetro de la planta al cubo. Para L4 (56 híbridos) se empleó el promedio de cinco años de producción y para L5 (28 híbridos) cuatro años de producción (Eskes 2005).

El diámetro del tronco se registró cada seis meses hasta los 84 meses y estos datos se obtuvieron de los registros del Programa de Mejoramiento Genético del CATIE. Dicho parámetro se obtuvo midiendo el diámetro del tallo a los 30 cm con respecto al nivel del suelo para árboles superiores individuales.

3.5 Determinación del vigor y del estado general de los árboles superiores

Esta evaluación buscó determinar si existía algún factor fenotípico o ambiental que explique el buen desempeño de los árboles superiores en cuanto a producción y resistencia a enfermedades. Para esto se utilizaron algunos parámetros propuestos por el proyecto CFC. Los parámetros sugeridos por el Proyecto CFC incluyen la altura, el vigor de los árboles, la apertura de la copa, la cantidad de follaje, el número de ramas, el nivel de sombra y el nivel de competencia. En el Cuadro 7 se muestran los parámetros estudiados en esta fase y su escala (IPGRI 2000).

Cuadro 7. Parámetros para determinar el vigor y estado general de los árboles superiores.

Descriptor	Observación
Altura (m)	Se determinó por medio de un clinómetro.
Vigor	Se utilizó una escala visual de 1 a 5. Donde 1 se asignó a los árboles menos vigoroso y 5 a los más vigorosos.
Apertura de copa	Envergadura de las ramas con respecto al eje central, donde 1 correspondió a la copa más cerrada y 5 a la copa más abierta.
Cantidad de follaje	Determinado visualmente y medido con una escala donde 1 representó los árboles con menor follaje y 5 los que más tuvieron.
Número de ramas	Se contó el número de ramas que presentó el árbol al nivel del verticilo.
Nivel de sombrío	Cantidad de sombramiento que recibía el árbol en un día soleado: 0= radiación directa, 1 a 5 equivalieron a valores que van desde el autosombramiento hasta 5 que representó una sombra superior al 75%.
Nivel de competencia	Número de árboles de cacao que rodearon al individuo evaluado. Donde: 100% = 4 árboles, 75%= 3 árboles, 50%= 2 árboles y 25% = 1 árbol.

3.6 Resistencia a *Phytophthora palmivora*

Para el estudio de la reacción a la enfermedad de mazorca negra, cuyo agente causal es *Phytophthora palmivora*, se evaluaron todos los árboles que presentaron al menos dos frutos sanos para ser inoculados. Al final del experimento se contabilizaron 39 genotipos individuales evaluados pertenecientes a los Ensayos de 56 híbridos y de 42 clones superiores. Dos clones fueron usados como testigos susceptibles y resistentes CCN-51 y el Pound-7 respectivamente.

3.6.1 Preparación del inóculo

El inóculo se preparó en el laboratorio de Fitopatología del CATIE, a partir de colonias del hongo que crecieron en platos Petri sobre el medio Agar-V8-CaCO₃ (1,8, 20 y 0,3 gr) respectivamente, por un lapso de 10 a 15 días en una cámara a 25° C. Para las inoculaciones se empleó la cepa C-14 procedente de Cabiria, Turrialba. La suspensión de zoosporas se preparó siguiendo la metodología de Lawrence (1978) modificada por Phillips y Galindo (1989). Para esto, a cada plato Petri se le adicionó 15 ml de agua destilada a 10° C. Los platos se conservaron durante 30 minutos en una cámara oscura a 5° C y luego se mantuvieron en una cámara de incubación a 25° C por un lapso igual de tiempo. El inóculo se calibró a 1.5×10^5 zoosporas ml⁻¹. con ayuda de un hematocímetro y microscopio de luz.

3.6.2 Preparación de las mazorcas para la inoculación y evaluación

En todos los ensayos se emplearon mazorcas de cinco meses de edad, las cuales se limpiaron previamente con agua destilada y papel toalla. Cada uno de los trozos y/o mazorcas enteras se inocularon con un disco de papel filtro (Wathman No. 2) de 0,5 cm de diámetro impregnada con la suspensión de zoosporas previamente agitada. Cada disco de papel se colocó en el ecuador de las mazorcas evaluadas.

3.6.3 Métodos usados para la inoculación y evaluación de los materiales

Se realizaron inoculaciones artificiales de segmentos de cáscara de fruto usando 10 genotipos superiores. Este método fue comparado con la inoculación de frutos enteros desprendidos del árbol, el cual resultó más eficiente por lo que fue seleccionado para evaluar los genotipos. A continuación se describen ambos métodos los cuales se muestran gráficamente en la Figura 5.

Método 1. Inoculación artificial de cáscaras de segmentos de frutos.



Método 2. Inoculación de frutos enteros.



Foto: A. Mora

Figura 5. Métodos de inoculación para determinar la resistencia de genotipos de cacao a *Phytophthora palmivora*.

3.6.3.1 Inoculación artificial de segmentos de cáscara de fruto

Este método consistió en usar una caja plástica (22x30x6.5 cm) en la cual se colocó en el fondo papel toalla y se adicionó 30 ml de agua destilada. Cuatro platos Petri (100x15 mm) se usaron como soporte de un cedazo rectangular de (20x28 cm) sobre el cual se colocó cada mazorca partida en cuatro trozos que fueron empleados como pseudo-repeticiones de cada uno de los árboles evaluados (unidades experimentales). La inoculación de cada segmento se hizo colocando en el centro del mismo un disco de papel Wathman No.2 que contenía la concentración de 1.5×10^5 zoosporas ml^{-1} . Finalmente se evaluó la incidencia y severidad del patógeno a los seis días luego de realizada la inoculación.

3.6.3.2 Inoculación artificial de frutos enteros

Las mazorcas que se evaluaron fueron cortadas al nivel del pedúnculo, identificadas y transportadas al Laboratorio de Raíces del CATIE, donde se procedió con la inoculación de artificial. La mazorca se colocó en una bolsa *ziploc* (26.8x27.9 cm) de polietileno transparente la cual contenía una toalla de papel húmedo con agua destilada a razón de 30 ml por bolsa, luego de estar allí se procedió a colocar en dos puntos a lados opuestos del ecuador de la mazorca un disco de papel Wathman No.2 previamente sumergido en la suspensión de esporas. Se evaluó la incidencia y severidad del patógeno a los seis días después de la inoculación.

3.6.4 Variables de medición

Transcurridos seis días después de la inoculación se determinó la incidencia y la severidad de la enfermedad. La incidencia fue calculada por medio del número de trozos y/o frutos infectados. La severidad se determinó midiendo el diámetro promedio de la lesión en dos sentidos perpendiculares.

Estas pruebas se replicaron cuatro veces en el tiempo y se utilizaron como testigos un clon resistentes (Pound-7) y otro susceptibles (CCN-51), los cuales fueron inoculados tanto con el

hongo (testigo relativo) como con agua destilada estéril (testigo absoluto). Para definir la severidad de la enfermedad y el comportamiento de cada uno de los materiales se usó una escala de cuatro valores (Cuadro 8).

Cuadro 8. Escala para definir la severidad de la enfermedad.

Diámetro de la lesión (cm)	Parámetro
0 – 2	Resistente (R)
2 – 4	Moderadamente Resistente (MR)
4 – 6	Moderadamente Susceptible (MS)
> 6	Susceptible (S)

* Lainez (1991).

3.7 Determinación de la compatibilidad

Se procedió a realizar polinizaciones artificiales de algunos de los genotipos de interés con el objeto de determinar si los mismos son o no autocompatibles. Se evaluaron aquellos árboles superiores o clones que mostraron flores durante el periodo en que se llevó a cabo este estudio, que fue del 26 de julio al 15 de octubre del 2004.

Se evaluaron 40 árboles individuales provenientes del Experimento de 56 híbridos. Cada árbol fue evaluado cuatro veces en el tiempo, realizando en cada una de ellas 10 autopolinizaciones por árbol por fecha. También se evaluaron 23 genotipos del Experimento de 42 clones para lo cual se realizaron tres repeticiones, en cada una de las cuales se autopolinizaron de 32 a 40 flores por clón y por fecha. Para las autopolinizaciones se siguió el procedimiento que se describe a continuación:

- a) Botones florales fisiológicamente maduros fueron aislados al menos un día antes de efectuar la polinización artificial, cubriéndolos con tubos de vidrio transparente con un diámetro de 1,4 cm y una longitud de 7 cm. Uno de los extremos del tubo fue cubierto con una malla fina que evitó el paso de insectos. El otro extremo del tubo se sujetó al árbol por medio de un anillo de plastilina y se aseguró al tronco con una liga No.19.

b) Se procedió a polinizar artificialmente las flores abiertas, lo cual se hizo entre las 6 y las 12 del medio día. Para la polinización se tomó la flor madre y se emasculó, o sea, se le eliminarón los estambres luego otra flor abierta que actuó como padre fue desprendida del mismo árbol. A esta flor se le eliminaron los pétalos para descubrir sus estambres, estos fueron frotados suavemente contra el pistilo de la flor madre para polinizarla. Luego se cubrió de nuevo la flor madre con el tubo. Ocho días después se determinó el porcentaje de flores prendidas. Se consideró autocompatible a aquellos genotipos que tuvieron un prendimiento superior al 14% del total de flores emasculadas. En la Figura 6 se puede observar gráficamente el procedimiento usado.



Figura 6. Procedimiento usado para determinar la autocompatibilidad de genotipos superiores de cacao. **A.** Materiales utilizados. **B.** Aislamiento de botones florales. **C.** Apertura del botón floral. **D.** Preparación de la flor madre. **E.** Emasculación. **F.** Aislamiento de la flor polinizada. **G.** Prendimiento del fruto. **H.** Desarrollo del fruto.

3.8 Resumen general

Para efectos de visualización general, en el Cuadro 9 se indican los genotipos evaluados en cada una de las fases que componen esta investigación.

Cuadro 9. Genotipos superiores de cacao evaluados en cada una de las fases de esta investigación.

Parámetros evaluados		Árboles superiores			Clones
		Ensayo 56 híbridos	Ensayo 28 híbridos	Ensayo 42 clones	Clones testigos
Caracterización Morfo-fisiológica	Fruto	Realizado para 56 de los 60 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	Realizado para 15 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando CATIE-R3, CATIE-R7, ARF-6, ARF-22, CC-252, GU-133N (Cuadro 3).	Realizado para los 4 clones testigos, que fueron CCN-51 ^{1/} , Pound-7 ^{1/} , CC-124 ^{2/} y Catongo ^{2/} .
	Semilla	Realizado para 56 de los 60 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	Realizado para 15 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando CATIE-R3, CATIE-R7, ARF-6, ARF-22, CC-252, GU-133N (Cuadro 3).	Realizado para los 4 clones testigos, que fueron CCN-51 ^{1/} , Pound-7 ^{1/} , CC-124 ^{2/} y Catongo ^{2/} .
Determinación de los índices	Fruto ó mazorca	Realizado para 56 de los 60 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	Realizado para 16 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando ARF-6, ARF-22, CC-252, GU-133N (Cuadro 3).	Realizado para los 5 clones testigos, que fueron CCN-51, Pound-7, SCA-6, CC-124 y Catongo.
	Semilla ó grano	Realizado para 56 de los 60 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	Realizado para 16 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando ARF-6, ARF-22, CC-252, GU-133N (Cuadro 3).	Realizado para los 5 clones testigos, que fueron CCN-51, Pound-7, SCA-6, CC-124 y Catongo.
	Rendimiento	Realizado para 54 de los 60 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60, CATIE-R64, CATIE-R66 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	No se realizó para ninguno de los clones seleccionados.	No se realizó para ninguno de los clones testigos.
Rendimiento	Producción kg/ha/año	Realizado para 56 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	Realizado para 16 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando ARF-6, ARF-22, CC-252, GU-133N (Cuadro 3).	Realizado para los 5 clones testigos, que fueron CCN-51, Pound-7, SCA-6, CC-124 y Catongo.

^{1/}Clones testigos ubicados en la Colección de Germoplasma del CATIE.

^{2/}Clones testigos ubicados en la finca Experimental La Lola.

Cuadro 9 continuación.

Ensayos realizados	Árboles superiores			Clones	
	Ensayo 56 híbridos	Ensayo 28 híbridos	Ensayo 42 clones	Clones testigos	
Preparación de muestras para pruebas de calidad	Fermentado y Secado	Realizado para 56 de los 60 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	Realizado para 16 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando CATIE-R7, ARF-6, ARF-22, CC-252, GU-133N (Cuadro 3).	Realizado para los 5 clones testigos, que fueron CCN-51, Pound-7, SCA-6, CC-124 y Catongo.
	Calidad	Realizadas para 31 de los 60 árboles seleccionados.	Realizadas para 5 de los 18 árboles seleccionados.	Realizado para 16 de los 21 clones seleccionados.	Realizado únicamente para el CCN-51
Determinación del vigor y estado general de los árboles	Altura Número de ramas Diámetro al quinto año Vigor Apertura de la copa Sombra Competencia Follaje	Realizado para 54 de los 60 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R17, CATIE-R31, CATIE-R60, CATIE-R64, CATIE-R66 y Catie 1000 x CC-137 árbol 25 (Cuadro 2).	Realizado para 17 de los 18 árboles individuales seleccionados. Exceptuando el CATIE-R77 (Cuadro 2).	No se realizó para ninguno de los clones.	No se realizó para ninguno de los clones testigos.
Pruebas de resistencia a <i>Phytophthora palmivora</i>	Inoculación de segmentos en caja	No se consideraron los datos por estandarización de la metodología. Debido a que las lecturas fueron realizadas al quinto día.	No se consideraron los datos por estandarización de la metodología. Debido a que las lecturas fueron realizadas al quinto día.	Realizada para 19 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando el UF-712 y SCA-6.	Realizada para los tres clones de la Finca Experimental la Lola. Exceptuando el CC-124 y el Catongo de Turrialba
	Inoculación de frutos enteros	Realizada para 6 genotipos: CATIE-R40, CATIE-R44, CATIE-R45, CATIE-R47, CATIE-R49 y CATIE-R66, de los 60 árboles seleccionados.	Realizada para 11 genotipos: CATIE-R67, CATIE-R68, CATIE-R70, CATIE-R71, CATIE-R72, CATIE-R74, CATIE-R75, CATIE-R78, CATIE-R80, CATIE-R81 y CATIE-R82, de los 18 árboles seleccionados.	Realizada para 19 de los 21 clones seleccionados. Exceptuando el clon UF-712 y SCA-6.	Realizada para los tres clones de la Finca Experimental la Lola. Exceptuando el CC-124 y el Catongo de Turrialba
Pruebas de auto-compatibilidad		Realizadas para 40 de los 60 árboles seleccionados. Exceptuando CATIE-R-9, CATIE-R12, CATIE-R25, CATIE-R34, CATIE-R35, CATIE-R36, CATIE-R37, CATIE-R51, CATIE-R53, CATIE-R54, CATIE-R55, CATIE-R56, CATIE-R57, CATIE-R58, CATIE-R59, CATIE-R60, CATIE-R61, CATIE-R62, CATIE-R64 y CATIE-R66.	No se realizó para ninguno de los 18 árboles seleccionados, debido a que no se encontró disponibilidad de flores en el campo.	Realizada para los 21 clones seleccionados (Cuadro 3).	Realizada para los tres clones de la Finca Experimental la Lola. Exceptuando el CC-124 y el Catongo de Turrialba.

4 RESULTADOS

4.1 Evaluación de parámetros morfo-fisiológicos

Los genotipos estudiados fueron caracterizados usando 23 variables cuantitativas y siete variables cualitativas, obteniéndose los resultados indicados a continuación. Para las evaluaciones se usaron todos los frutos disponibles durante la realización del estudio. Algunos genotipos no contaron con la cantidad suficiente de frutos para la medición de los parámetros. A pesar de esto, dichos resultados también fueron considerados indicándose la cantidad de frutos que se utilizaron para determinar las variables respectivas.

4.1.1 Evaluación de variables cuantitativas del fruto

Los resultados alcanzados para la evaluación de seis variables cuantitativas del fruto (peso, longitud, diámetro, espesor del caballete, profundidad del surco y relación largo/ancho), se muestran el Cuadro 10, donde también se incluye el promedio, los valores máximos y mínimos, desviación estándar y el coeficiente de variación para cada variable.

Cuadro 10. Caracterización de 92 genotipos superiores de cacao: Variables cuantitativas del fruto. CATIE (2004).

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Cantidad de frutos evaluados ^{2/}	Características del fruto					
			Peso (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Espesor caballete (cm)	Profundidad surco (cm)	Relación largo/ancho (cm)
CATIE-R1	L6	60	539,4	16,9	9,7	1,8	1,3	1,8
CATIE-R2	L6	60	500,6	17,7	9,4	1,6	1,3	1,9
CATIE-R4	L6	51	564,1	19,0	9,8	1,7	1,2	1,9
CATIE-R5	L6	52	770,5	19,3	10,5	1,7	1,3	1,9
CATIE-R6	L6	70	560,4	14,3	9,4	1,5	1,1	1,5
CATIE-R8	L4	17	587,6	18,2	9,1	1,7	1,2	2,0
CATIE-R9	L4	21	435,1	16,0	8,3	1,4	1,1	1,9
CATIE-R10	L4	8	511,6	15,8	8,9	1,5	1,2	1,8
CATIE-R11	L4	26	424,7	14,6	8,2	1,7	1,4	1,8
CATIE-R12	L4	3	714,3	16,7	9,0	1,5	1,1	1,8
CATIE-R14	L4	21	701,1	17,2	9,7	2,2	1,7	1,8
CATIE-R15	L4	15	538,5	17,3	9,1	1,7	1,3	1,9
CATIE-R16	L4	24	419,7	16,1	9,0	1,7	1,2	1,8

^{1/} L4 = Ensayo de 56 híbridos, L5 = Ensayo de 28 híbridos, L6= Ensayo de 42 clones.

^{2/} = Número de frutos evaluados.

^{3/} A = Número del árbol en el experimento original.

Cuadro 10 continuación

Genotipo	Experimento de origen	Cantidad de frutos evaluados	Características del fruto					
			Peso (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Espesor caballete (cm)	Profundidad surco (cm)	Relación largo/ancho (cm)
CATIE-R18	L4	17	588,0	17,1	10,3	1,8	1,4	1,7
CATIE-R20	L4	21	626,3	18,6	10,0	1,6	1,2	2,0
CATIE-R22	L4	18	523,3	14,1	9,2	1,4	1,1	1,5
CATIE-R23	L4	16	433,4	15,9	7,6	1,5	1,0	2,1
CATIE-R24	L4	18	478,8	15,4	8,9	1,7	1,2	1,8
CATIE-R26	L4	22	537,3	16,1	9,1	1,7	1,1	1,8
CATIE-R27	L4	7	758,0	20,2	9,6	2,0	1,7	2,1
CATIE-R28	L4	18	576,4	18,5	8,9	1,6	1,0	2,1
CATIE-R29	L4	20	541,8	16,2	9,3	1,7	1,1	1,8
CATIE-R30	L4	19	779,0	17,2	10,1	2,0	1,5	1,7
CATIE-R32	L4	15	773,9	18,1	10,2	1,9	1,4	1,8
CATIE-R33	L4	16	533,3	15,6	9,1	1,7	1,2	1,7
CATIE-R35	L4	45	517,6	16,7	13,3	1,7	1,1	1,8
CATIE-R36	L4	11	548,2	16,9	9,5	1,8	1,3	1,8
CATIE-R37	L4	13	613,2	16,0	10,1	1,6	1,3	1,6
CATIE-R38	L4	16	1035,4	21,8	11,0	2,0	1,3	2,0
CATIE-R39	L4	5	565,6	15,5	9,0	1,7	1,2	1,7
CATIE-R41	L4	7	660,1	20,6	10,1	1,8	1,3	2,1
CATIE-R44	L4	30	635,3	22,2	8,5	1,7	1,2	2,6
CATIE-R45	L4	22	419,4	16,0	8,1	1,6	1,2	2,0
CATIE-R46	L4	11	614,8	17,9	10,2	1,9	1,4	1,8
CATIE-R47	L4	29	631,0	22,2	8,7	1,7	1,3	2,6
CATIE-R48	L4	10	745,8	20,0	9,7	1,8	1,2	2,1
CATIE-R49	L4	23	663,6	20,5	9,0	1,6	1,1	2,3
CATIE-R50	L4	19	512,8	17,6	9,2	1,8	1,0	1,9
CATIE-R51	L4	15	417,3	14,3	8,8	1,5	1,2	1,6
CATIE-R52	L4	44	390,5	15,9	8,1	1,4	1,1	1,9
CATIE-R55	L4	20	631,9	15,0	9,8	2,1	1,6	1,5
CATIE-R56	L4	1	349,8	12,6	8,2	1,5	1,0	1,5
CATIE-R57	L4	21	439,0	14,4	8,5	1,6	1,4	1,7
CATIE-R58	L4	10	431,0	14,1	8,3	1,4	1,1	1,7
CATIE-R59	L4	9	595,7	17,9	9,1	1,5	1,2	2,0
CATIE-R61	L4	13	624,3	21,7	8,8	1,1	0,9	2,5
CATIE-R63	L4	26	507,7	16,1	8,8	1,4	1,2	1,8
CATIE-R64	L4	1	407,0	18,2	7,7	1,3	1,1	2,3
CATIE-R66	L4	6	830,0	23,0	9,5	1,9	1,1	2,4
CATIE-R67	L5	18	561,3	16,0	9,3	1,7	1,5	1,7
CATIE-R68	L5	20	945,0	24,8	9,4	1,8	1,3	2,9
CATIE-R69	L5	17	558,4	15,0	8,7	1,6	1,2	1,6
CATIE-R72	L5	11	706,9	20,8	9,1	1,5	1,2	2,5
CATIE-R76	L5	23	533,4	18,2	8,4	1,6	1,2	1,9
CATIE-R78	L5	23	642,4	18,7	9,6	1,5	1,1	2,3
CATIE-R80	L5	20	541,2	17,7	8,3	1,3	0,9	2,2

Cuadro 10 continuación.

Genotipo	Experimento de origen	Cantidad de frutos evaluados	Características del fruto					
			Peso (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Espesor caballete (cm)	Profundidad surco (cm)	Relación largo/ancho (cm)
CATIE-R81	L5	28	546,3	16,7	9,6	1,5	1,1	1,9
CATIE-R82	L5	29	646,0	18,0	10,8	2,1	1,7	2,1
CATIE-R83	L5	17	688,6	18,4	8,4	1,8	1,4	1,9
CATIE-R84	L5	6	826,8	14,6	9,7	1,9	1,6	1,5
CATIE-R85	L5	7	604,0	18,7	9,7	1,9	1,5	1,7
CATIE-R87	L5	3	973,3	20,3	10,7	2,0	1,7	2,3
Catie-1000x CC-137 A ^{3/24}	L4	1	599,0	19,0	9,4	1,5	1,3	1,8
CC-252 x UF-273 A7	L4	14	365,1	13,3	8,0	1,6	1,3	1,7
CC-252 x UF-273 A30	L4	15	602,5	17,2	9,4	1,8	1,5	1,8
CC-252 x UF-273 A31	L4	22	404,3	16,3	7,9	1,6	1,3	2,1
EET-75 x Catie1000 A28	L4	20	453,6	13,6	7,9	1,8	1,2	1,5
EET-75 x Catie1000 A30	L4	18	414,6	15,2	9,4	1,9	1,4	1,6
ICS-95 x Catie1000 A20	L4	25	665,3	18,1	15,8	1,8	1,5	1,8
ICS-95 x UF-273 A8	L4	1	585,0	18,0	8,6	1,6	1,2	2,1
PA-169 X UF-273 A13	L5	2	356,5	14,1	8,0	1,3	1,0	1,6
UF-273 x Catie-1000 A26	L4	16	549,8	16,2	9,6	2,1	1,5	1,7
UF-273 x CC-137 A2	L4	15	413,3	15,1	8,0	1,5	1,1	1,9
UF-273 X P-23 A6	L5	4	517,3	16,9	8,6	1,6	1,3	1,8
UF-273 x POUND-7 A6	L4	13	555,7	17,4	9,0	1,8	1,3	1,9
UF-273 x SCA-6 A22	L4	25	562,1	19,3	8,8	1,6	1,1	2,2
UF-712 X ARF-37 A25	L5	13	544,1	15,4	8,9	1,6	1,1	1,4
CATONGO	L6	5	743,5	13,9	10,7	2,0	1,8	1,3
CC-124	L6	2	592,5	16,1	9,8	1,8	1,3	2,1
CC-137	L6	93	451,7	16,6	9,5	1,5	1,1	1,7
CCN-51	L6	35	701,8	21,5	10,0	1,6	1,2	2,2
EET-183	L6	66	424,9	16,6	8,6	1,7	1,2	2,0
ICS-43	L6	24	506,8	20,4	9,2	1,8	1,2	2,2
ICS-95	L6	1	588,1	20,5	8,9	1,7	1,3	2,3
IMC-60	L6	64	554,2	16,8	10,5	1,6	1,2	1,6
PA-169	L6	59	443,8	18,3	9,1	1,5	1,1	2,0
PMCT-58	L6	57	478,9	15,4	9,8	1,8	1,4	1,6
POUND-7	L6	38	483,7	16,0	9,3	1,7	1,1	1,7
SGU-84	L6	67	385,6	15,3	9,0	1,5	1,2	1,7
UF-273Tipo1	L6	60	658,0	15,8	9,7	2,0	1,4	1,6
UF-712	L6	25	702,0	17,3	10,6	2,2	1,7	1,6
Media			574,1	17,3	9,3	1,7	1,3	1,9
Mínimo			349,8	12,6	7,6	1,1	0,9	1,3
Máximo			1035,4	24,8	15,8	2,2	1,8	2,9
Desviación estándar			134,5	2,4	1,1	0,2	0,2	0,3
Coefficiente de variación			23,4	13,7	11,8	12,4	15,0	15,3

4.1.1.1 Peso del fruto

Este parámetro varió entre 1035,4 g (CATIE-R38) y 348,8 g (CATIE-R56) y presentó un promedio general de 574,1g (Cuadro 9). Algunos de los pesos más altos fueron obtenidos por genotipos que en común tienen a los clones UF-712, CC-137, ICS-95, Tree 81 y ARF37 como uno de sus padres. Los pesos más bajos a su vez, fueron obtenidos por materiales que presentan como padre o madre los clones EET-75 y/o UF-273.

La distribución de frecuencias para esta variable indica que casi la mitad de los genotipos (43,0%) se encuentran en la clase dos, cuyos valores están entre 486,9 g y 624,0 g (Figura 7). Aunque no se contabilizó adecuadamente, se observó una fuerte tendencia a que los frutos en los troncos presentan más peso que los obtenidos en las ramas.

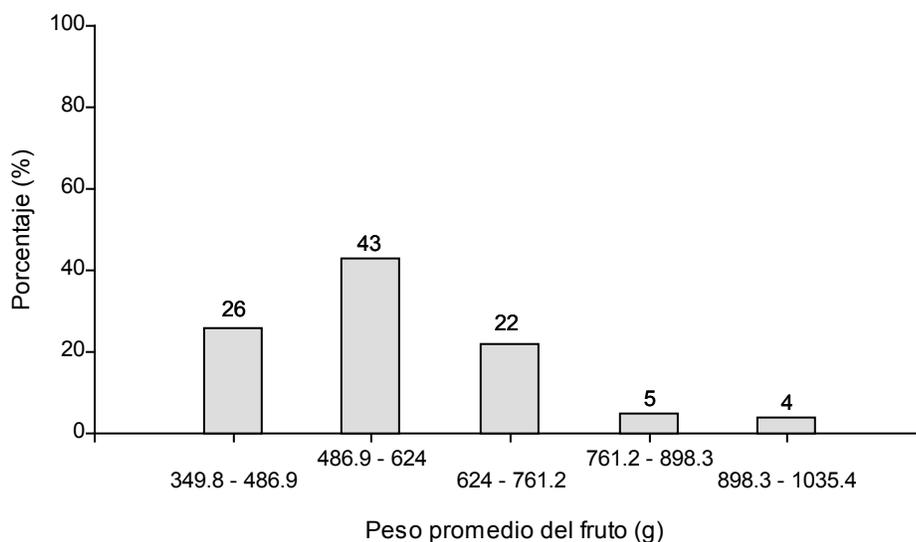


Figura 7. Distribución de frecuencias para el peso del fruto. CATIE (2004).

4.1.1.2 Longitud del fruto

La longitud del fruto varió entre 24,8 cm (CATIE-R68) y 12,6 cm (CATIE-R56), con un promedio de 17,3 cm. Los genotipos con los frutos más largos poseen en varios casos a los clones UF-712, SCA-6, ARF37 e ICS-95 como progenitores, por el contrario, los frutos más cortos frecuentemente tienen a los clones EET-75 y UF-273 como uno de sus padres. Para esta variable la distribución de la frecuencia evidenció que de los 92 genotipos evaluados, la mayoría (43,0%) está representado por la clase dos que registró valores que oscilan entre 15,0 cm y 17,5 cm (Figura 8).

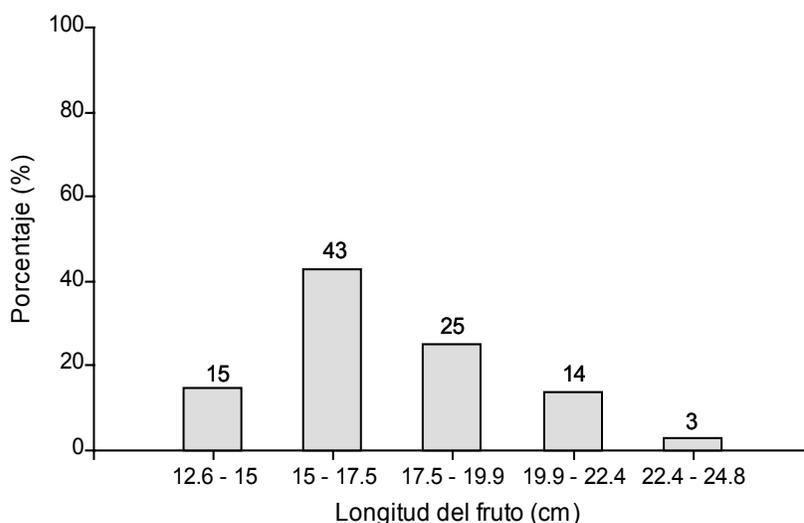


Figura 8. Distribución de frecuencias para la longitud del fruto. CATIE (2004).

4.1.1.3 Diámetro del fruto

Este carácter registró datos entre 15,8 cm (ICS-95 x Catie 1000 A-20) y 7,6 cm (CATIE-R23) y presentó un promedio de 9,3 cm. Los mayores valores están representados generalmente por padres como el UF-712, SCA-6 y ICS-95; mientras que los valores inferiores a 8,5 cm presentan progenitores como el EET-75 y UF-273.

La distribución de frecuencias para el diámetro indica que el 53,0% de los individuos pertenecen a la clase uno, cuyos rangos son 7,6 cm a 9,2 cm, seguido por un 44% del total de los individuos presentes en la clase dos cuyos rangos van entre 9,2 cm a 10,9 cm (Figura 9).

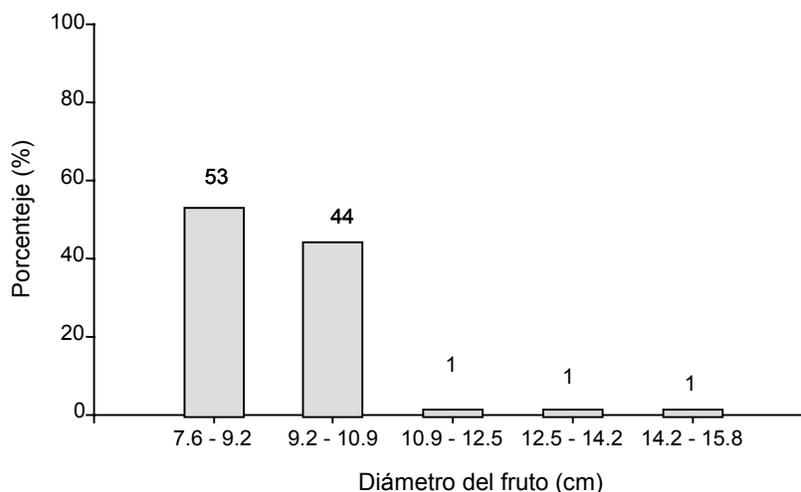


Figura 9. Distribución de frecuencias para diámetro del fruto. CATIE (2004).

4.1.1.4 Espesor del caballete del fruto

Este parámetro varió entre 2,2 cm para los genotipos (UF-712 y CATIE-R14) a 1,1 cm (CATIE-R61) y registró un promedio de 1,7 cm. Los genotipos que presentan el espesor más profundo poseen en varios casos a los clones UF-712, UF-273, Pound-7 y CC-124 como uno de sus padres. El caso contrario lo registran los materiales que tienen en común los clones CC-137 y PA-169 como uno de sus progenitores.

La clase más abundante para esta variable fue la tres que presentó rangos entre 1,5 cm a 1,8 cm donde se encontraron 19 genotipos, estos sumados a los 32 materiales distribuidos en las clases que oscilan entre 1,8 cm a 2,0 cm, suman el 62,0 % de la población estudiada (Figura 10).

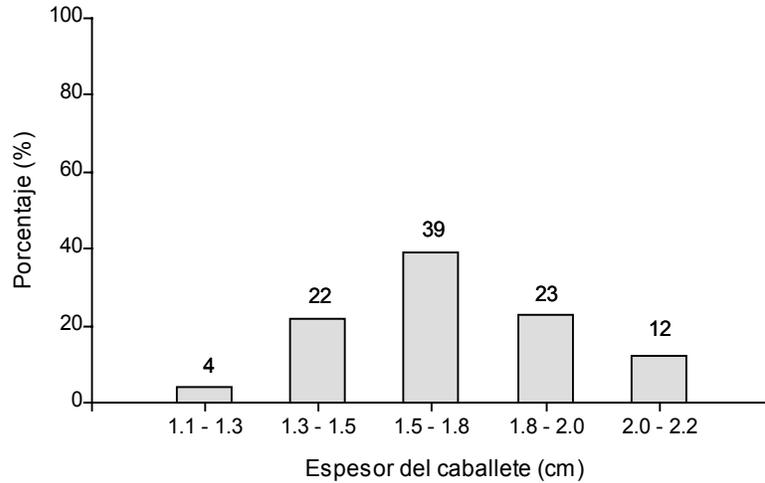


Figura 10. Distribución de frecuencias para el espesor del caballete del fruto. CATIE (2004).

4.1.1.5 Profundidad del surco para el fruto

Se encontró que el valor promedio para este carácter fue de 1,3 cm. Se registraron valores extremos que oscilaron entre 1,8 cm (Catongo) a 0,9 cm para los genotipos (CATIE-R61 y CATIE-R80). La distribución de frecuencias para este parámetro, muestra que la mayoría de los genotipos (48,0%), pertenecen a la clase dos, registrando valores que están entre 1,1 cm a 1,3 cm (Figura 11).

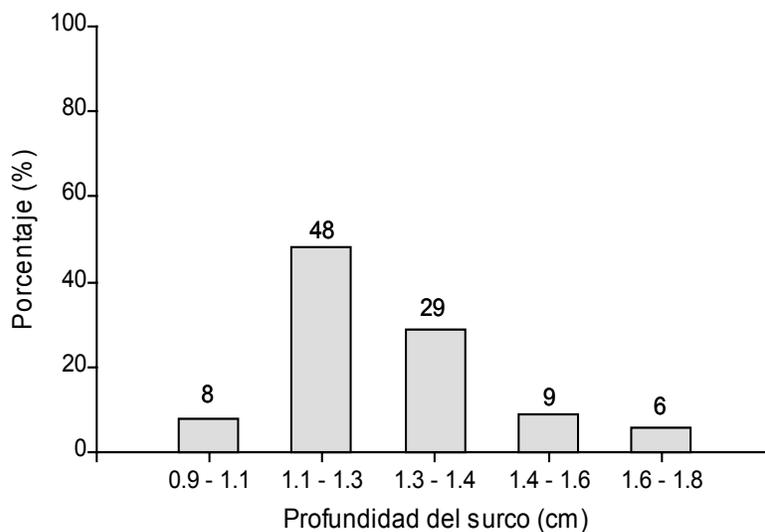


Figura 11. Distribución de frecuencias para la profundidad del surco del fruto. CATIE (2004).

4.1.1.6 Relación Largo/Ancho del fruto

Esta variable tuvo una variación de 1,3 cm (Catongo) y 2,9 cm (CATIE-R68), registró un promedio de 1,9 cm para todos los materiales evaluados. La distribución de frecuencia, evidencia que la mayoría de los materiales (47,0%) están representados por la clase dos cuyos valores están entre 1,6 cm a 1,9 cm (Figura 12).

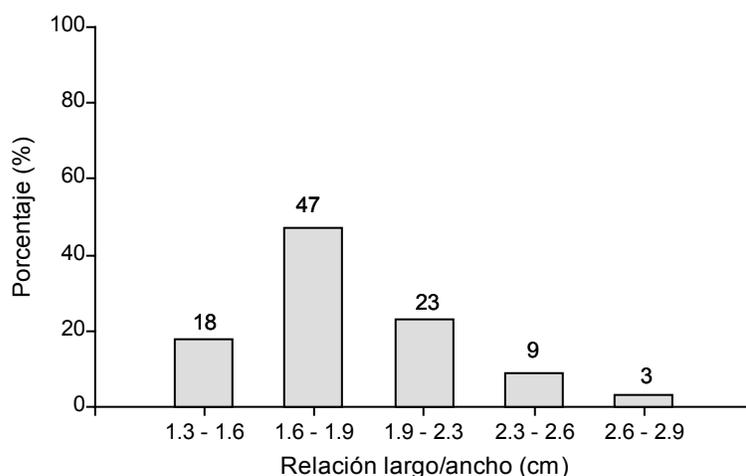


Figura 12. Distribución de frecuencias para la relación largo/ancho del fruto. CATIE (2004).

4.1.2 Evaluación de variables cuantitativas de la semilla

Los resultados obtenidos para la evaluación de ocho variables cuantitativas de la semilla (número de semillas por fruto, peso húmedo y seco, relación peso húmedo/seco, número de semillas vanas, longitud, diámetro y espesor) se registran en el Cuadro 11, donde también se incluye el promedio, los valores máximos y mínimos, la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada variable.

Cuadro 11. Caracterización de 92 genotipos superiores de cacao: Variables cuantitativas de la semilla. CATIE (2004).

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Características de las semillas							
		No. de Semillas por fruto	Peso húmedo (g) ^{2/}	Peso seco (g) ^{3/}	Relación peso húmedo/seco (g)	No. de semillas vanas	Longitud (cm) ^{4/}	Diámetro (cm) ^{5/}	Espesor (cm) ^{7/}
CATIE-R1	L6	24	94,4	31,1	3.0	0	2,5	0,9	1,2
CATIE-R2	L6	33	136,6	40,5	3.4	0	2,8	0,9	1,2
CATIE-R4	L6	38	169,3	52,7	3.2	0	2,5	1,0	1,3
CATIE-R5	L6	39	198,2	61,5	3.2	0	2,5	1,0	1,3
CATIE-R6	L6	31	139,2	39,5	3.5	0	2,6	0,9	1,2
CATIE-R8	L4	35	130,8	48,4	2.7	0	2,2	0,8	1,1
CATIE-R9	L4	31	95,0	33,6	2.8	0	2,2	0,8	1,1
CATIE-R10	L4	38	190,0	42,2	4.5	0	2,3	0,9	1,2
CATIE-R11	L4	39	137,0	40,2	3.4	1	2,2	0,8	1,2
CATIE-R12	L4	34	143,0	49,6	2.9	0	2,2	0,9	1,1
CATIE-R14	L4	36	117,7	42,3	2.8	0	2,4	0,8	1,2
CATIE-R15	L4	37	115,7	56,4	2.1	0	2,1	0,8	1,1
CATIE-R16	L4	37	110,2	35,8	3.1	0	2,3	0,8	1,1
CATIE-R18	L4	36	142,3	53,3	2.7	0	2,5	0,9	1,3
CATIE-R20	L4	38	129,4	49,0	2.6	0	2,3	0,9	1,2
CATIE-R22	L4	37	131,4	52,5	2.5	0	2,4	0,8	1,4
CATIE-R23	L4	24	92,5	36,0	2.6	0	2,2	0,8	1,1
CATIE-R24	L4	36	103,6	39,4	2.6	0	2,3	0,8	1,2
CATIE-R26	L4	33	120,4	45,0	2.7	0	2,4	0,9	1,4
CATIE-R27	L4	40	138,0	51,4	2.7	0	2,4	0,8	1,3

^{1/} = L4 = Ensayo de 56 híbridos, L5 = Ensayo de 28 híbridos, L6= Ensayo de 42 clones.

^{2/} = Peso húmedo: peso promedio por fruto de las semillas y su mucílago, sin considerar la placenta.

^{3/} = Peso seco: Este es el promedio por fruto de las semillas secas, se calculó secando cinco semillas en una caja Petri a 35 °C por 96 horas (hasta completar 30 semillas por repetición).

^{4/} = Número promedio de 30 semillas seleccionadas al azar, por cada fecha de muestreo.

^{5/} = Número promedio de 30 semillas seleccionadas al azar, por cada fecha de muestreo.

^{6/} = Número promedio de 30 semillas seleccionadas al azar, por cada fecha de muestreo.

^{7/} A= Número del árbol en el experimento original.

Cuadro 11 continuación.

Genotipo	Experimento de origen	Características de las semillas							
		No. de Semillas por fruto	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Relación peso húmedo/seco (g)	No. de semillas vanas	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)
CATIE-R28	L4	37	156,4	49,8	3.1	0	2,4	0,9	1,3
CATIE-R29	L4	34	129,3	49,4	2.6	0	2,2	0,9	1,2
CATIE-R30	L4	36	158,0	46,0	3.4	0	2,2	1,0	1,0
CATIE-R32	L4	39	165,3	53,6	3.1	0	2,5	1,0	1,4
CATIE-R33	L4	37	137,8	45,3	3.0	0	2,5	1,0	1,4
CATIE-R35	L4	36	138,6	41,9	3.3	0	2,5	1,0	1,3
CATIE-R36	L4	40	127,9	40,8	3.1	0	2,4	0,9	1,2
CATIE-R37	L4	38	104,5	49,5	2.1	1	2,3	0,9	1,3
CATIE-R38	L4	42	211,7	70,5	3.0	0	2,7	0,8	1,4
CATIE-R39	L4	31	112,2	41,0	2.7	0	2,1	0,8	1,1
CATIE-R41	L4	40	132,8	47,0	2.8	0	2,3	0,7	1,0
CATIE-R45	L4	32	77,9	25,9	3.0	0	2,2	0,7	1,1
CATIE-R46	L4	32	119,1	28,6	4.2	0	2,3	0,9	1,2
CATIE-R47	L4	36	119,5	48,7	2.5	0	2,2	1,0	1,2
CATIE-R48	L4	37	166,5	47,1	3.5	0	2,4	1,0	1,2
CATIE-R49	L4	43	153,6	54,4	2.8	1	2,3	0,8	1,3
CATIE-R50	L4	34	107,3	40,3	2.7	0	2,1	0,8	1,1
CATIE-R51	L4	30	97,9	30,3	3.2	0	2,0	0,8	1,1
CATIE-R52	L4	30	105,3	37,6	2.8	0	2,0	0,9	1,2
CATIE-R55	L4	41	96,5	37,1	2.6	0	2,1	0,8	1,1
CATIE-R56	L4	30	87,0	34,0	2.6	0	2,3	0,7	1,1
CATIE-R57	L4	39	89,1	51,0	1.7	0	2,7	1,0	1,3
CATIE-R58	L4	29	108,5	39,0	2.8	0	2,5	0,8	1,1
CATIE-R59	L4	34	125,9	40,1	3.1	0	2,2	0,8	1,1
CATIE-R61	L4	44	163,6	62,9	2.6	0	2,3	0,9	1,3
CATIE-R63	L4	37	123,1	44,0	2.8	0	2,2	0,8	1,2

Cuadro 11 continuación.

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Características de las semillas							
		No. de Semillas por fruto	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Relación peso húmedo/seco (g)	No. de semillas vanas	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)
CATIE-R64	L4	32	79,0	28,0	2.8	0	2,2	0,8	1,1
CATIE-R66	L4	48	179,0	52,7	3.4	0	2,1	0,9	1,1
CATIE-R67	L5	39	108,5	31,8	3.4	1	2,2	0,7	1,1
CATIE-R68	L5	39	255,0	56,5	4.5	1	2,2	1,0	1,2
CATIE-R69	L5	30	100,3	34,0	3.0	1	2,0	1,0	1,0
CATIE-R72	L5	38	186,5	64,8	2.9	0	2,4	1,0	1,3
CATIE-R76	L5	37	127,0	44,0	2.9	4	2,2	1,0	1,2
CATIE-R78	L5	28	35,8	12,4	2.9	4	2,3	1,1	1,1
CATIE-R80	L5	38	119,5	42,7	2.8	2	2,3	0,7	1,1
CATIE-R81	L5	43	192,5	58,0	3.3	1	2,3	0,9	1,1
CATIE-R82	L5	43	142,5	52,7	2.7	0	2,3	0,9	1,2
CATIE-R83	L5	42	112,3	44,0	2.6	1	2,2	1,0	1,0
CATIE-R84	L5	35	138,2	48,3	2.9	0	2,3	1,0	1,2
CATIE-R85	L5	51	152,8	59,9	2.6	0	2,2	1,0	1,2
CATIE-R87	L5	44	164,0	76,5	2.1	0	2,4	1,0	1,3
CATIE-R88	L5	37	99,7	36,7	2.7	0	2,0	0,8	1,1
Catie-1000x CC-137 A ^{7/24}	L4	39	51,0	41,0	1.2	0	2,2	0,9	1,2
CC-252 x SCA-6 A27	L4	34	102,5	35,7	2.9	0	2,1	0,9	1,1
CC-252 x UF-273 A7	L4	29	59,9	18,7	3.2	1	2,2	0,7	1,0
CC-252 x UF-273 A30	L4	34	101,3	40,0	2.5	1	2,3	1,0	1,2
CC-252 x UF-273 A31	L4	30	62,9	22,1	2.8	1	2,1	0,9	1,2
EET-75 x Catie1000 A28	L4	35	87,4	34,4	2.5	1	2,0	0,8	1,1
EET-75 x Catie1000 A30	L4	36	100,2	32,9	3.0	0	2,2	0,7	1,1
ICS-95 x Catie1000 A20	L4	33	111,4	37,5	3.0	0	2,3	0,8	1,3
ICS-95 x UF-273 A8	L4	29	80,0	25,0	3.2	0	2,2	1,0	1,1

Cuadro 11 continuación

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Características de las semillas							
		No. de Semillas por fruto	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Relación peso húmedo/seco (g)	No. de semillas vanas	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)
PA-169 X UF-273 A13	L5	26	80,0	32,0	2.5	0	2,2	1,0	1,2
UF-273 x Catie-1000 A26	L4	41	74,2	40,6	1.8	0	2,0	1,0	1,0
UF-273 x CC-137 A2	L4	32	89,2	35,6	2.5	0	2,1	0,8	1,1
UF-273 X P-23 A6	L5	35	92,8	33,0	2.8	0	2,3	0,9	1,0
UF-273 x POUND-7 A6	L4	34	123,1	39,3	3.1	0	2,2	0,8	1,1
UF-273 x SCA-6 A22	L4	38	118,8	45,1	2.6	1	2,2	0,8	1,1
UF-712 X ARF-37 A25	L5	27	100,6	27,4	3.7	0	2,2	1,0	1,0
CATONGO	L6	39	133,0	32,8	4.1	0	2,3	0,8	1,0
CC-124	L6	27	115,0	57,2	2.0	0	2,5	1,1	0,9
CC-137	L6	31	155,9	49,5	3.1	0	2,6	0,9	1,3
CCN-51	L6	27	207,7	57,0	3.6	2	2,8	1,1	1,4
EET-183	L6	30	97,5	33,2	2.9	0	1,9	0,7	1,0
ICS-43	L6	34	117,7	40,9	2.9	0	2,3	0,9	1,2
ICS-95	L6	33	108,7	35,2	3.1	0	2,1	0,9	1,1
IMC-60	L6	48	162,8	53,0	3.1	0	2,1	0,7	1,1
PA-169	L6	33	129,3	39,0	3.3	0	2,2	1,0	1,2
PMCT-58	L6	35	106,1	41,1	2.6	0	2,3	0,8	1,1
POUND-7	L6	37	148,3	50,7	2.9	0	2,2	0,7	1,1
SGU-84	L6	34	77,5	30,1	2.6	0	2,2	0,7	1,1
UF-273Tipo1	L6	32	110,3	47,7	2.3	0	2,5	0,7	1,0
UF-712	L6	29	111,0	38,2	2.9	0	2,3	0,9	1,1
Media		35	123,5	42,9	2,9	0,3	2,3	0,9	1,2
Mínimo		24	35,8	12,4	1,2	0,0	1,9	0,7	0,9
Máximo		51	255,0	76,5	4,5	4,0	2,8	1,1	1,4
Desviación estándar		14,5	36,8	11,0	0,5	0,7	0,2	0,1	0,1
Coefficiente de variación		5,2	29,8	25,7	17,6	262,2	7,7	12,3	9,6

4.1.2.1 Número de semillas por fruto

Este parámetro varió entre 51 (CATIE-R85) y 24 (CATIE-R23), registró un promedio de 35 semillas por fruto. El número inferior de semillas se atribuye a progenitores CC-137, CC-124, CCN-51 y Catie 1000, los cuales poseen semillas de tamaño grande, caso contrario a lo que se observa con los materiales que tienen como progenitores EET-75 y el UF-273, que poseen un mayor número de semillas pequeñas por fruto. La distribución de frecuencias para esta variable indica que la mayoría de los genotipos (43,0%), pertenecen a la clase tres cuyos rangos están entre 35 a 40 semillas por fruto (Figura 13).

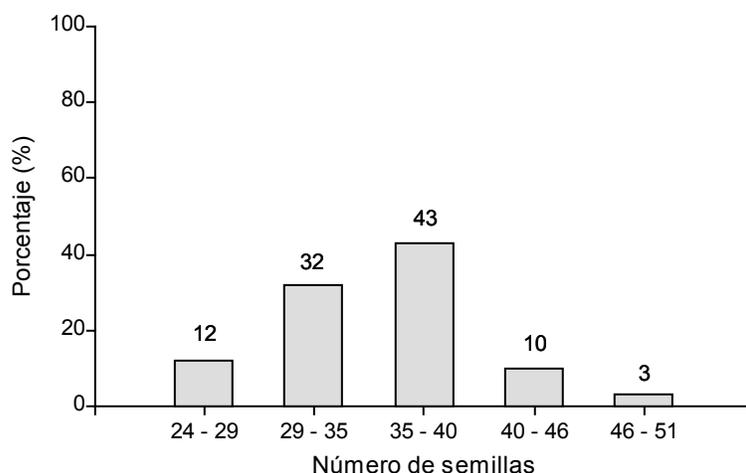


Figura 13. Distribución de frecuencias para número de semillas por fruto. CATIE (2004).

4.1.2.2 Peso Húmedo de las semillas

Esta variable presentó un promedio de 123,5 g el cual varió entre 255,0 g (CATIE-R68) y 35,8 g (CATIE-R78). La distribución de frecuencia para el peso húmedo esta representada por la clase dos que es la más abundante y donde se encuentra el (48%) de los 92 genotipos evaluados, cuyos valores se encuentran entre 79,6 g a 123,5 g del peso húmedo de las semillas por fruto (Figura 14).

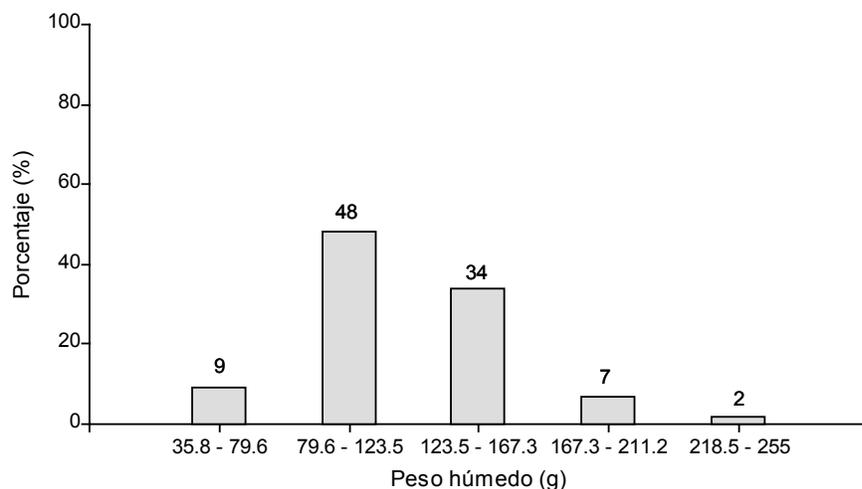


Figura 14. Distribución de frecuencias para el peso húmedo de las semillas. CATIE (2004).

4.1.2.3 Peso seco de las semillas

El peso seco de las semillas varió entre 76,5 g (CATIE-R87) y 12,4 g (CATIE-R78), con un promedio de 42,9 g. Como era de esperarse, lo más lógico sería que el peso húmedo guardara relación con el peso seco, sin embargo se puede apreciar que el peso seco más alto lo registró otro genotipo diferente al CATIE-R68. La distribución de frecuencia para este parámetro esta representada por la clase tres donde se encuentra el (45,0%), cuyos valores oscilan entre 38 g a 50,9 g de peso seco (Figura 15).

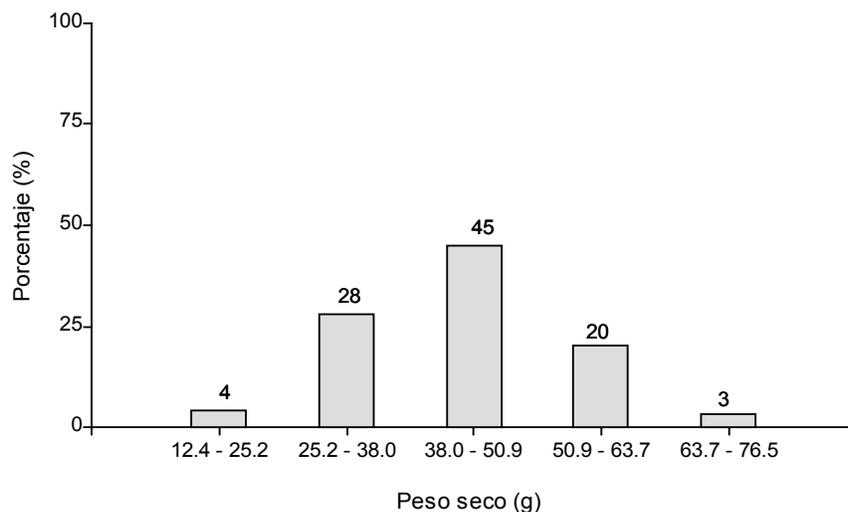


Figura 15. Distribución de frecuencias para el peso seco de las semillas. CATIE (2004).

4.1.2.4 Número de semillas vanas

Este parámetro mostró una variación de cuatro (CATIE-R76 y CATIE-R78) a cero semillas vanas por fruto para la mayoría de los genotipos. 75 de los 92 evaluados no registran semillas vanas. Es importante mencionar que aquellos materiales que presentan una o más semillas vanas en el fruto, poseen en la mayoría de los casos a padres como PA-169, ARF-22, ARF-37 y UF-273. Se registra que la mayoría de los genotipos estudiados (82,0%), están representados en la clase uno, donde no hay semillas vanas en los frutos (Figura 16).

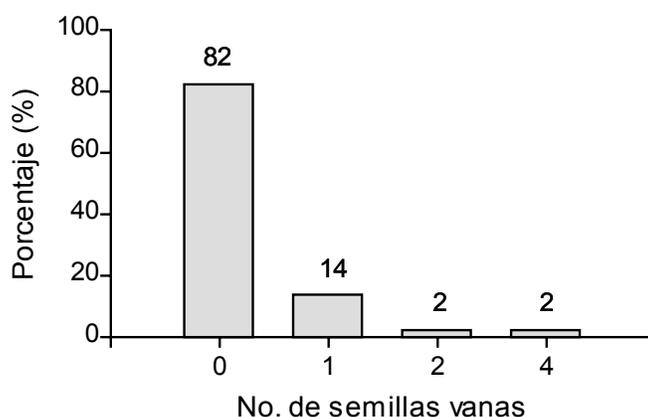


Figura 16. Distribución de frecuencias para el número de semillas vanas. CATIE (2004).

4.1.2.5 Longitud, diámetro y espesor de la semilla

Estas variables por representar características propias de la morfología de la semilla, se encuentran íntimamente relacionadas, y esto se puede apreciar en cada uno de los parámetros. La longitud de la semilla mostró una variación de 2,8 cm a 1,9 cm, con un promedio general de 2,3 cm, el diámetro presentó una variación de 1,1 cm a 0,7 cm, con un promedio de 0,9 cm y el espesor de la semilla evidenció una variación de 1,4 cm a 0,9 cm, y un promedio de 1,2 cm. En todas estas variables los valores máximos fueron obtenidos por el CCN-51 y CATIE-R2 y los valores inferiores corresponden al genotipo EET-183.

La distribución de frecuencia para cada una de estas variables, indica que la mayoría de los genotipos (41,0%) se agrupa en la clase dos, cuyos valores están entre 2,1 cm a 2,3 cm para la longitud. Para el diámetro el 58,0% de la población estudiada esta representado por la clase dos y tres, donde los valores se encuentran entre 0,78 cm a 0,94 cm. Finalmente el espesor esta representado por un 37,0% que se encuentra en la clase dos, para la cual los rangos oscilan entre 1,0 cm a 1,2 cm.

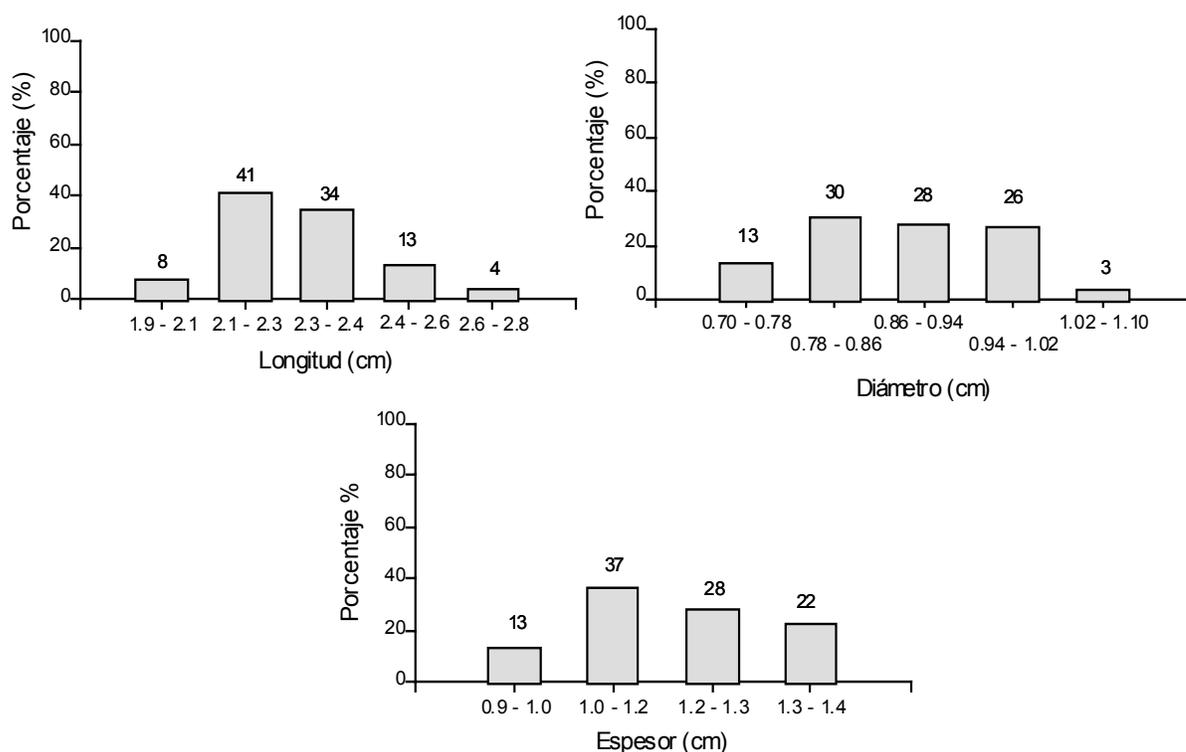


Figura 17. Distribución de frecuencias para longitud, diámetro y espesor de las semillas por fruto, de 92 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.1.3 Evaluación de variables cualitativas del fruto

El Cuadro 12 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de siete variables cualitativas del fruto, a saber: forma de la mazorca, forma del ápice, constricción basal, rugosidad del mesocarpo, dureza del mesocarpo y color del fruto. Mientras que en el Cuadro

13 se muestra en detalle cada uno de los caracteres cualitativos evaluados, para 92 genotipos superiores seleccionados.

Cuadro 12. Evaluación de 92 genotipos superiores de cacao: variables cualitativas del fruto. CATIE (2004).

Descriptor	Categoría	Porcentaje
Forma de la mazorca	Angoleta	13,0
	Amelonada	82,6
	Cundeamor	1,1
	Calabacillo	3,3
Forma del ápice	Puntiagudo	4,3
	Agudo	29,3
	Obtuso	20,7
	Redondeado	39,1
	Pezón	6,5
Constricción Basal	Ausente	73,9
	Escasa	26,1
Rugosidad del mesocarpo	Lisa	13,0
	Suave	79,4
	Áspera	7,6
Dureza del Mesocarpo	Suave	67,4
	Intermedia	17,4
	Duro	15,2
Color del fruto	Verde	55,4
	Rojo	44,6
Color de la semilla	Púrpura	61,9
	Café	37,0
	Crema	1,1

En el Cuadro 12 se indica la frecuencia en que se presentaron cada una de las categorías. Se puede apreciar que la mayoría de los genotipos evaluados poseen en promedio frutos con forma amelonada (82,6%), sin constricción basal (73,9%), con una rugosidad suave (79,4%) y un mesocarpo suave (67,4%). El ápice de los frutos fue agudo (29,3%), obtuso (20,7%), redondeado (39,1%) y en menor proporción en forma de pezón (6,5%). El porcentaje de los genotipos en frutos de color rojo fue de un 44,6% y de verdes el 55,4%. El color de la semilla en su mayoría fue púrpura (61,9%).

Cuadro 13. Evaluación de 92 genotipos superiores de cacao: variables cualitativas del fruto y la semilla. CATIE (2004).

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Características cualitativas de los frutos y semillas						
		Color ^{2/}	Forma del fruto ^{3/}	Forma del ápice ^{4/}	Tipo constricción basal ^{5/}	Tipo rugosidad mesocarpo ^{6/}	Tipo dureza mesocarpo ^{7/}	Color semilla ^{8/}
CATIE-R1	L6	2	2	4	0	5	7	1
CATIE-R2	L6	2	2	2	0	0	3	1
CATIE-R4	L6	1	2	4	0	5	3	1
CATIE-R5	L6	2	2	4	0	5	3	1
CATIE-R6	L6	1	2	2	1	5	3	3
CATIE-R8	L4	2	2	2	0	5	5	1
CATIE-R9	L4	2	2	5	2	5	3	1
CATIE-R10	L4	1	2	2	0	5	5	1
CATIE-R11	L4	2	2	3	1	5	3	1
CATIE-R12	L4	2	2	5	1	5	3	1
CATIE-R14	L4	1	2	3	0	5	3	3
CATIE-R15	L4	1	2	3	1	7	7	1
CATIE-R16	L4	2	2	4	0	5	3	1
CATIE-R18	L4	1	2	4	0	5	3	1
CATIE-R20	L4	1	2	2	1	5	3	3
CATIE-R22	L4	2	2	3	0	5	3	3
CATIE-R23	L4	2	2	2	0	5	3	1
CATIE-R24	L4	1	2	2	0	5	3	1
CATIE-R26	L4	1	2	3	0	5	3	1
CATIE-R27	L4	1	1	4	1	5	3	1
CATIE-R28	L4	1	1	2	0	5	3	1
CATIE-R29	L4	1	1	3	1	5	5	1
CATIE-R30	L4	1	1	3	0	5	3	1
CATIE-R32	L4	1	2	4	1	7	7	3
CATIE-R33	L4	2	2	3	0	5	3	1
CATIE-R35	L4	1	2	4	1	5	5	1
CATIE-R36	L4	2	2	3	0	7	3	1
CATIE-R37	L4	1	2	5	0	5	3	3
CATIE-R38	L4	1	2	3	0	5	3	3
CATIE-R39	L4	1	2	4	0	5	3	3
CATIE-R41	L4	1	2	3	0	5	3	1
CATIE-R44	L4	1	2	4	0	7	5	1
CATIE-R45	L4	2	2	4	0	0	3	1

^{1/} L4 = Ensayo de 56 híbridos, L5 = Ensayo de 28 híbridos, L6= Ensayo de 42 clones.

^{2/} Color: 1 = verde y 2= rojo.

^{3/} Forma del fruto: 1= angoleta, 2= amelonada, 3= cundeamor y 4= calabacillo.

^{4/} Forma del ápice: 1= puntiagudo, 2= agudo, 3= obtuso, 4= redondeado y 5= pezón.

^{5/} Constricción basal: 0= ausente y 1= escasa.

^{6/} Rugosidad mesocarpo: 0= lisa, 5= suave y 7= áspera.

^{7/} Dureza mesocarpo: 3= suave, 5= intermedia y 7= dura.

^{8/} Color de la semilla: 1= púrpura, 2= crema y 3= café.

^{9/} Á = Número del árbol en el experimento original.

Cuadro 13 continuación.

Genotipo	Experimento de origen	Características cualitativas de los frutos						
		Color	Forma del fruto'	Forma del ápice	Tipo constricción basal	Tipo rugosidad mesocarpio	Tipo dureza mesocarpio	Color semilla
CATIE-R46	L4	2	1	2	1	5	7	3
CATIE-R47	L4	1	1	2	1	5	7	3
CATIE-R48	L4	2	2	4	1	0	5	3
CATIE-R49	L4	1	2	3	0	5	3	1
CATIE-R50	L4	2	2	3	0	7	3	1
CATIE-R51	L4	2	2	2	0	5	3	1
CATIE-R52	L4	1	2	2	0	5	3	1
CATIE-R55	L4	2	2	4	0	5	3	1
CATIE-R56	L4	2	2	4	0	5	3	1
CATIE-R57	L4	1	4	2	0	5	5	3
CATIE-R58	L4	2	4	2	0	5	5	3
CATIE-R59	L4	1	2	3	0	5	3	3
CATIE-R61	L4	1	1	2	1	0	3	3
CATIE-R63	L4	1	2	4	0	5	3	1
CATIE-R64	L4	1	1	2	0	5	3	3
CATIE-R66	L4	1	2	4	1	5	5	1
CATIE-R67	L5	1	2	3	0	5	3	1
CATIE-R68	L5	2	1	2	0	7	3	1
CATIE-R69	L5	2	2	2	0	5	3	1
CATIE-R72	L5	1	1	2	0	5	5	1
CATIE-R76	L5	1	2	3	0	5	3	3
CATIE-R78	L5	1	2	3	0	5	3	3
CATIE-R80	L5	1	2	5	0	0	3	3
CATIE-R81	L5	1	2	4	0	5	3	1
CATIE-R82	L5	1	2	4	0	5	5	1
CATIE-R83	L5	1	2	2	0	0	3	1
CATIE-R84	L5	1	2	3	0	0	7	1
CATIE-R85	L5	1	2	4	1	5	7	1
CATIE-R87	L5	2	2	1	0	0	3	3
CATIE-R88	L5	2	2	2	1	5	3	1
Catie-1000x CC-137 A ^{9/24}	L4	1	2	4	0	5	3	1
CC-252 x UF-273 A7	L4	2	2	5	0	5	3	1
CC-252 x UF-273 A30	L4	2	2	2	0	5	3	1
CC-252 x UF-273 A31	L4	2	2	2	0	0	3	1
EET-75 x Catie1000 A28	L4	2	2	4	0	5	3	1
EET-75 x Catie1000 A30	L4	2	2	4	0	5	3	1
ICS-95 x Catie1000 A20	L4	1	2	4	0	0	7	1
ICS-95 x UF-273 A8	L4	2	1	2	1	5	7	3
PA-169 X UF-273 A13	L5	2	2	2	0	0	3	3
UF-273 x Catie-1000 A26	L4	2	2	3	1	5	5	3
UF-273 x CC-137 A2	L4	2	2	2	1	5	3	1
UF-273 X P-23 A6	L5	2	3	2	0	5	7	1

Cuadro 13 continuación.

Genotipo	Experimento de origen	Características cualitativas de los frutos						
		Color	Forma del fruto'	Forma del ápice	Tipo constricción basal	Tipo rugosidad mesocarpo	Tipo dureza mesocarpo	Color semilla
UF-273 x POUND-7 A6	L4	2	2	4	0	5	3	1
UF-273 x SCA-6 A22	L4	2	1	5	1	5	5	1
UF-712 X ARF-37 A25	L5	1	2	4	0	5	3	1
CATONGO	L6	1	2	4	0	5	5	2
CC-124	L6	2	2	4	0	5	3	3
CC-137	L6	1	2	4	0	5	3	3
CCN-51	L6	2	2	4	2	7	7	3
EET-183	L6	1	2	1	0	5	3	3
ICS-43	L6	2	2	1	0	5	3	3
ICS-95	L6	2	2	1	0	5	3	3
IMC-60	L6	1	2	4	0	5	3	3
PA-169	L6	1	2	4	0	5	5	3
PMCT-58	L6	1	2	4	0	5	3	1
POUND-7	L6	1	2	4	0	5	5	3
SGU-84	L6	1	2	4	0	5	7	1
UF-273Tipo1	L6	2	2	4	1	0	7	3
UF-712	L6	1	4	4	1	5	7	3

4.2 Evaluación de los parámetros de producción

Los genotipos estudiados para los parámetros de producción fueron evaluados usando ocho variables cuantitativas a saber: frutos por árbol por año, frutos sanos por año, porcentaje de frutos sanos por año, porcentaje de frutos enfermos por *Monilia (Moniliophthora roreri)* por año, porcentaje de frutos enfermos con mazorca negra (*Phytophthora palmivora*) por año, producción de kg/ha/año e índices de producción (fruto y semilla).

Estas variables se ilustran en el Cuadro 14, donde también se incluye el promedio, los valores máximos y mínimos, la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada una de estos parámetros.

Cuadro 14. Evaluación de 92 genotipos superiores de cacao: variables relacionadas con la producción. CATIE (2004).

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Frutos cosechados					Producción kg/ha/año	Índices de producción	
		Frutos/ árbol/año ^{2/}	Sanos/ árbol/año	%Sanos/ árbol/año	% Monilia	% <i>Phytophthora</i>		Semilla ^{3/}	Fruto ^{4/}
CATIE-R1	L6	14	11	78.1	13.1	8.7	379.0	1.3	32
CATIE-R2	L6	13	10	78.3	10.7	11.0	445.5	1.2	25
CATIE-R4	L6	11	10	91.6	7.8	0.6	610.7	1.4	19
CATIE-R5	L6	7	6	94.3	5.0	0.7	444.7	1.6	16
CATIE-R6	L6	15	14	96.1	3.3	0.2	621.7	1.3	25
CATIE-R8	L4	32	28	88.1	11.9	0.0	1491.9	1.4	21
CATIE-R9	L4	102	73	71.4	27.8	0.8	2696.0	1.1	30
CATIE-R10	L4	50	37	73.3	26.3	0.4	1703.5	1.1	24
CATIE-R11	L4	39	31	80.4	19.1	0.5	1386.5	1.0	25
CATIE-R12	L4	20	17	83.0	17.0	0.0	922.1	1.5	20
CATIE-R14	L4	23	19	80.9	19.1	0.0	861.0	1.2	24
CATIE-R15	L4	38	24	63.7	36.3	0.0	1493.7	1.5	18
CATIE-R16	L4	35	20	57.1	42.3	0.6	793.6	1.0	28
CATIE-R18	L4	29	20	69.0	30.3	0.7	1169.5	1.5	19
CATIE-R20	L4	49	28	56.7	43.3	0.0	1544.3	1.3	20
CATIE-R22	L4	44	28	64.5	35.5	0.0	1660.7	1.4	19
CATIE-R23	L4	34	28	81.9	12.9	5.3	1111.0	1.5	28
CATIE-R24	L4	50	26	52.0	47.2	0.8	1164.3	1.1	25
CATIE-R26	L4	46	37	79.6	18.3	2.2	1848.3	1.4	22
CATIE-R27	L4	35	24	69.3	30.1	0.6	1426.8	1.3	19
CATIE-R28	L4	42	27	62.7	33.5	3.8	1477.6	1.3	20
CATIE-R29	L4	39	29	73.1	26.4	0.5	1599.8	1.5	20
CATIE-R30	L4	33	24	72.1	27.3	0.6	1259.1	1.3	21
CATIE-R32	L4	29	23	78.6	20.7	0.7	1333.2	1.4	19
CATIE-R33	L4	26	19	73.8	26.2	0.0	969.6	1.2	22
CATIE-R35	L4	48	32	67.5	15.8	16.7	1499.9	1.2	24
CATIE-R36	L4	24	20	84.2	11.7	4.2	935.1	1.0	24
CATIE-R37	L4	21	18	83.2	15.9	0.9	988.8	1.3	20
CATIE-R38	L4	25	22	89.4	9.8	0.8	1745.9	1.7	14
CATIE-R39	L4	27	20	74.4	24.1	1.5	916.6	1.4	24
CATIE-R41	L4	28	19	67.6	32.4	0.0	994.6	1.2	21
CATIE-R44	L4	27	21	76.9	22.4	0.7	817.4	1.1	28
CATIE-R45	L4	37	28	75.1	24.3	0.5	791.9	0.8	39
CATIE-R46	L4	30	19	63.6	33.1	3.3	609.5	0.9	35
CATIE-R47	L4	38	26	69.7	25.5	4.8	1386.1	1.4	21
CATIE-R48	L4	28	20	69.5	29.8	0.7	1036.9	1.3	21
CATIE-R49	L4	25	20	79.2	18.4	2.4	1222.1	1.3	18

^{1/} L4= Ensayo de 56 híbridos, L5 = Ensayo de 28 híbridos y L6 = ensayo de 42 clones.

^{2/} Esta variable fue calculada en función de los registros proporcionados por el Programa de Mejoramiento Genético de cacao: L4: cinco años, L5 y L6: cuatro años.

^{3/} Estimado utilizando 100 semillas, tomadas al azar, después de fermentar y secar, en cada fecha de muestreo.

^{4/} Frutos necesarios para obtener un kilogramo de cacao fermentado y seco.

^{6/} Á = Número del árbol en el experimento original.

Cuadro14 continuación.

Genotipo	Experimento de origen	Frutos cosechados					Producción kg/ha/año	Índices de producción	
		Frutos/ árbol/ año	Sanos/ árbol/ año	%Sanos/ árbol/ año	% Monilia	% <i>Phytophthora</i>		Semilla	Fruto
CATIE-R50	L4	29	23	79.6	20.4	0.0	1039.9	1.2	25
CATIE-R51	L4	30	21	70.2	28.5	1.3	713.7	1.0	33
CATIE-R52	L4	36	27	74.7	25.3	0.0	1094.5	1.3	27
CATIE-R55	L4	48	29	60.8	37.1	2.1	1201.5	0.9	27
CATIE-R56	L4	62	41	65.7	32.0	2.3	1555.4	1.1	29
CATIE-R57	L4	35	22	63.6	29.5	6.9	2222.0	2.3	11
CATIE-R58	L4	19	17	89.7	10.3	0.0	773.3	1.4	25
CATIE-R59	L4	25	17	69.4	30.6	0.0	764.4	1.2	25
CATIE-R61	L4	32	23	71.5	28.5	0.0	1569.3	1.4	16
CATIE-R63	L4	35	22	61.4	38.6	0.0	1090.8	1.2	22
CATIE-R64	L4	47	31	67.1	32.5	0.4	969.0	0.9	36
CATIE-R66	L4	20	15	75.8	24.2	0.0	877.1	1.1	19
CATIE-R67	L5	23	17	73.3	23.3	3.3	591.3	0.8	31
CATIE-R68	L5	29	20	67.8	32.2	0.0	1203.6	1.4	18
CATIE-R69	L5	22	19	83.1	16.9	0.0	708.7	1.1	29
CATIE-R72	L5	16	13	81.3	17.2	1.6	962.9	1.7	15
CATIE-R76	L5	40	22	56.3	43.7	0.0	1074.8	1.2	23
CATIE-R78	L5	36	25	70.1	29.2	0.7	1001.9	1.3	28
CATIE-R80	L5	20	18	86.4	12.3	1.2	845.3	1.1	23
CATIE-R81	L5	27	26	95.4	4.6	0.0	1682.8	1.4	17
CATIE-R82	L5	28	22	77.5	21.6	0.9	1257.2	1.2	19
CATIE-R83	L5	21	18	86.6	13.4	0.0	857.4	1.1	23
CATIE-R84	L5	23	14	61.5	38.5	0.0	740.7	1.4	21
CATIE-R85	L5	15	14	91.8	8.2	0.0	914.9	1.2	17
CATIE-R87	L5	19	14	77.0	21.6	1.4	1217.8	1.7	13
CATIE-R88	L5	21	17	84.1	15.9	0.0	709.8	1.0	27
Catie-1000x CC-137 A24 ^{6/}	L4	17	14	84.5	14.3	1.2	657.3	1.1	24
CC-252 x UF-273 A7	L4	35	26	74.6	24.9	0.6	553.4	0.6	53
CC-252 x UF-273 A30	L4	23	17	72.8	25.4	1.8	737.7	1.2	25
CC-252 x UF-273 A31	L4	39	30	78.2	21.8	0.0	745.6	0.7	45
EET-75 x Catie1000 A28	L4	47	26	55.1	43.6	1.3	988.4	1.0	29
EET-75 x Catie1000 A30	L4	38	24	62.8	36.7	0.5	874.0	0.9	30
ICS-95 x Catie1000 A20	L4	34	20	60.7	35.7	3.6	839.4	1.1	27
ICS-95 x UF-273 A8	L4	19	16	85.1	14.9	0.0	455.8	0.9	39
PA169 X UF-273 A13	L5	11	11	97.7	2.3	0.0	385.3	1.2	31
UF-273 x Catie-1000 A26	L4	40	22	55.4	44.6	0.0	995.5	1.0	25
UF-273 x CC-137 A2	L4	43	22	51.9	48.1	0.0	888.8	1.1	28
UF-273 X P-23 A6	L5	16	12	72.3	27.7	0.0	466.2	1.0	28
UF-273 x POUND-7 A6	L4	50	20	40.1	59.9	0.0	897.7	1.2	25
UF-273 x SCA6 A22	L4	44	21	48.4	51.6	0.0	1070.6	1.2	22
UF-712 X ARF-37 A25	L5	20	15	72.5	27.5	0.0	447.5	1.0	36
CATONGO	L6	---	----	---	---	---	---	0.8	31
CC-124	L6	---	---	---	---	---	---	2.1	17

Cuadro14 continuación.

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Frutos cosechados					Producción kg/ha/año	Índices de producción	
		Frutos/ árbol/año	Sanos/ árbol/año	%Sanos/ árbol/año	% Monilia	% <i>Phytophthora</i>		Semilla	Fruto
CC-137	L6	15	11	73.1	24.9	1.9	602.8	1.6	20
CCN-51	L6	12	6	53.2	41.5	5.4	397.6	2.1	18
EET-183	L6	14	9	65.2	31.9	2.9	345.7	1.1	30
ICS-43	L6	12	7	63.6	24.9	11.6	342.7	1.2	24
ICS-95	L6	10	6	66.6	25.5	7.9	256.0	1.1	28
IMC-60	L6	7	4	59.0	36.4	4.5	254.4	1.1	19
PA-169	L6	5	4	85.3	14.0	0.7	191.6	1.2	26
PMCT-58	L6	14	10	70.9	21.7	7.4	457.9	1.2	24
POUND-7	L6	21	5	21.9	77.7	0.4	250.0	1.4	20
SGU-84	L6	18	13	71.2	22.5	6.3	420.8	0.9	33
UF-273Tipo1	L6	7	6	81.8	13.7	4.5	321.0	1.5	21
UF-712	L6	1	1	86.2	11.5	2.3	42.2	1.3	26
Media		29	20	72.5	25.7	1.8	954.3	1.2	25
Mínimo		1	1	21.9	2.3	0.0	42.2	0.6	11
Máximo		102	73	97.7	77.7	16.7	2696.0	2.3	53
Desviación estándar		15	10	12.8	12.9	2.9	472.5	0.3	7
Coefficiente de variación		52	49	17.6	50	163.8	49.5	22.6	28

4.2.1 Frutos/árbol/año

El total de frutos cosechados por árbol por año varió entre 102 (CATIE-R9) y 1 (UF-712), con un promedio de 29 frutos. Para esta variable los valores menores se obtienen para cruzamientos que contienen UF-273 y PA-169 como progenitores, mientras que los valores más altos se obtienen con cruzamientos que contienen como algunos de sus progenitores al CC-137, Pound-7 y Catie 1000. La distribución de frecuencias para esta variable mostró que de los 90 genotipos evaluados, la mayoría (52,2%) está representado por la clase dos que registró valores que oscilan entre 25 y 50, seguidos de un 45,6% que tienen entre 1 y 25 frutos/árbol/año (Figura 18).

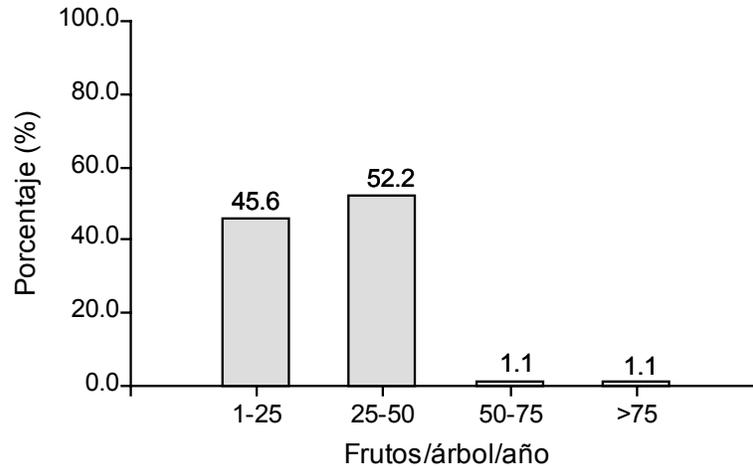


Figura 18. Distribución de frecuencias de frutos por árbol por año, de 90 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.2.2 Frutos sanos/árbol/año

Este parámetro varió entre 73 (CATIE-R9) y 1 (UF-712), con un promedio de 20 frutos/sanos/árbol/año. La distribución de frecuencias para esta variable indica que la clase uno concentra el 75,6% de los individuos estudiados, cuyos valores oscilan entre 1 a 25 frutos sanos por árbol.

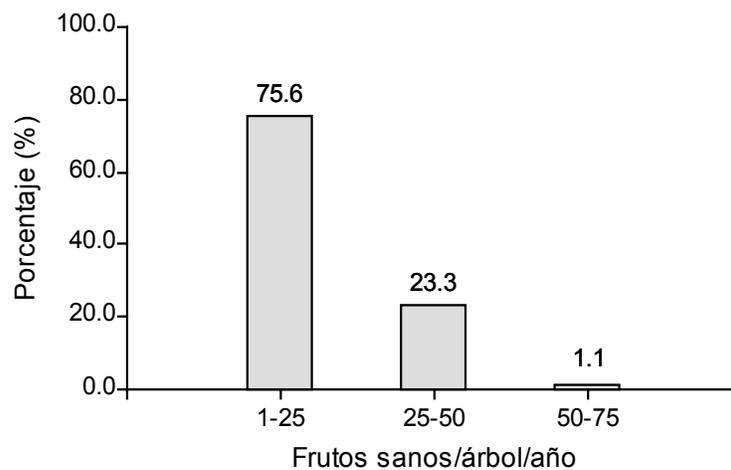


Figura 19. Distribución de frecuencias para el porcentaje de frutos sanos por árbol por año, de 90 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.2.3 Porcentaje de frutos sanos/árbol/año

Este parámetro varió entre 97,7% (PA-169 x UF273 Á13) y 21,9% (Pound-7) frutos sanos, con un promedio de 72,5%. La distribución de frecuencias para esta variable indica que la mayoría de los genotipos (55,6%) se concentra en la clase tres, cuyos valores están entre 50 a 75% de frutos sanos (Figura 20).

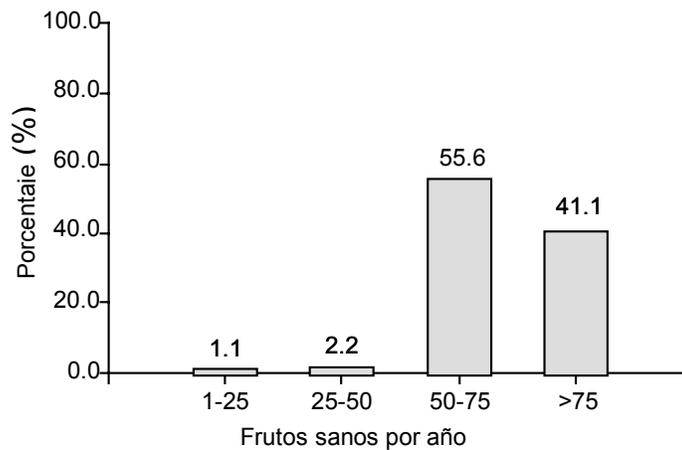


Figura 20. Distribución de frecuencias para el porcentaje de frutos sanos por árbol por año, de 90 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.2.4 Porcentaje de frutos enfermos con monilia por año

El porcentaje de frutos enfermos con monilia presentó una variación entre 77,7% (Pound-7) y 2,3% (PA-169 x UF273 Á13), con un promedio de 25,7%. Se puede apreciar que en la mayoría de los casos los genotipos que muestran una menor incidencia a la enfermedad tienen como progenitores al UF-273, PA-169 y UF-712, por el contrario de los genotipos con alta incidencia que poseen algunos de los siguientes progenitores: Pound-7 y CCN-51. La distribución de frecuencias para esta variable evidenció que de los 90 genotipos evaluados, la mitad (50,0%) está representado por la clase uno que registró valores cuyos rangos están entre 1 y 25% de incidencia, seguidos del 46,7% que presentaron una incidencia entre el 25 y 50% (Figura 21).

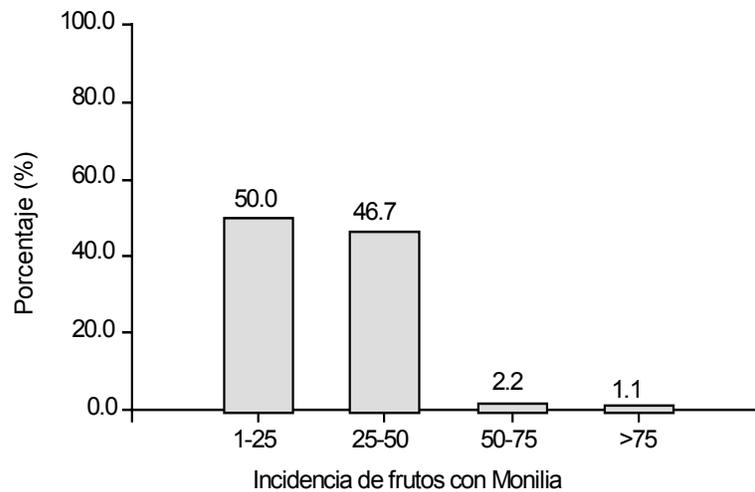


Figura 21. Distribución de frecuencias para el porcentaje de frutos enfermos con monilia, de 90 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.2.5 Porcentaje de frutos enfermos con *Phytophthora* por año

Este parámetro varió entre 16,7% (CATIE-R35) y 0% para 31 de los genotipos evaluados, con un promedio de 1,8% de incidencia. En la mayoría de los casos los materiales que muestran mayor incidencia a *Phytophthora palmivora* presentan como alguno de sus progenitores al UF-273, SGU-84 y CCN-51, mientras que los materiales que presentan resistencia a la enfermedad en la mayoría de los casos tienen a algunos de sus padres como Pound-7, ARF-22 y SCA-6. La distribución de frecuencias para este parámetro permitió apreciar que la gran mayoría de los genotipos evaluados 85,6%, se concentro en la clase uno, que presentó valores entre 0 y 4.2% de incidencia natural (Figura 22).

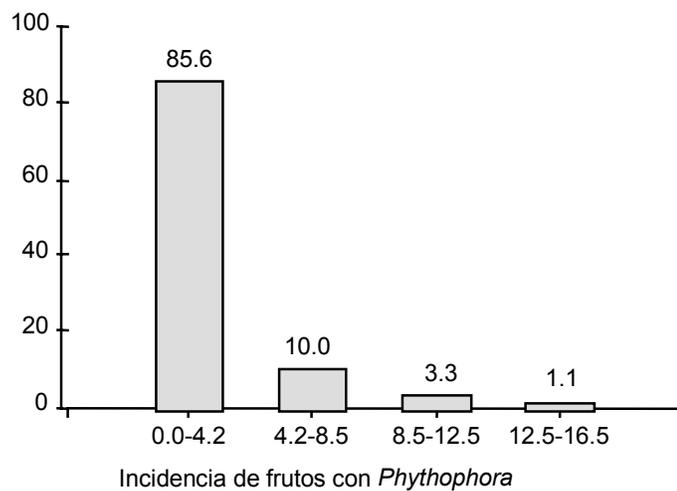


Figura 22. Distribución de frecuencias para frutos enfermos con *Phytophthora*, de 90 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.2.6 Producción por árbol (kg/ha/año)

La producción por árbol varió entre a 2696 (CATIE-R9) y 42,2 (UF-712) kg/ha/año, con un promedio de 954,8 kg/ha/año. Los genotipos que registran las más altas producciones corresponden a cruces con padres como ICS-95, ICS-43, CC-137 y CC-124, lo contrario sucede para cruzamientos que presentan como progenitores al UF-712 y UF-273. Para esta variable la distribución de frecuencia evidenció que de los 90 genotipos evaluados, la mayoría (47,8%) está representado por la clase dos, que registró valores que oscilan entre 596,9 a 1151,7 kg/ha/año (Figura 23).

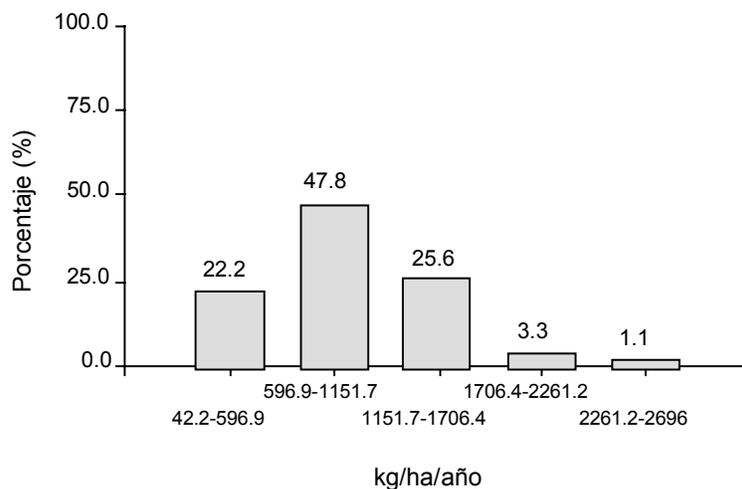


Figura 23. Distribución de frecuencias para la producción kg/ha/año de 90 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.2.7 Índice de semilla o grano

Esta variable presentó una variación entre 2,3 g (CATIE-R57) a 0,6 g (CC-252 x UF-273 Á7), con un promedio de 1,2 g. En la mayoría de los casos los genotipos que registran un índice de semilla superior a 1,8 g tienen como progenitores al CC-124, CCN-51 y CC-137, caso contrario de los que presentan un índice inferior a 1,0 g que muestran en algunos de los casos como uno de sus padres al EET-75 y SGU-84. La distribución de frecuencias para esta variable indica que la mayoría de los genotipos (47,9%) se ubica en la clase dos, cuyos valores están entre 1,09 g a 1,33 g (Figura 24). De los genotipos evaluados el 78,7% presentó un peso superior a 1,1 g valor mínimo requerido por algunas compañías industriales que evalúan la calidad de los materiales.

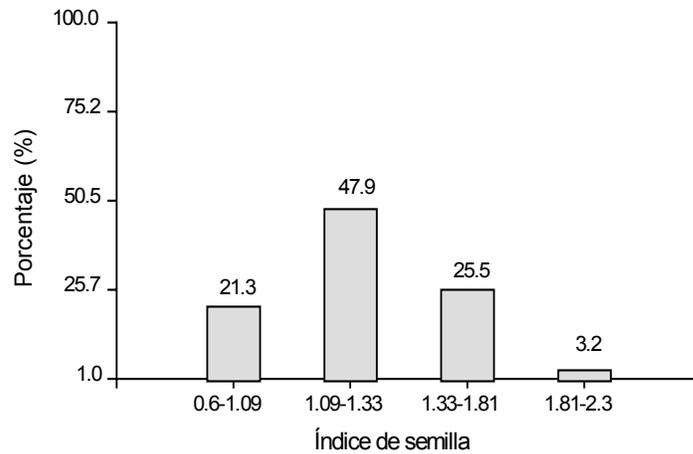


Figura 24. Distribución de frecuencias para el índice de grano en 92 genotipos de cacao. CATIE (2004).

4.2.8 Índice de fruto o mazorca

El índice de fruto varió entre 53 (CC-252 x UF-273 Á7) y 11(CATIE-R57) frutos necesarios para obtener un kilogramo de cacao seco y fermentado, con un promedio de 24,5. La distribución de frecuencias para esta variable permitió apreciar que de los 92 genotipos evaluados (Figura 25) el 51,1% presenta un índice de mazorca que oscila entre 18 y 25 frutos.

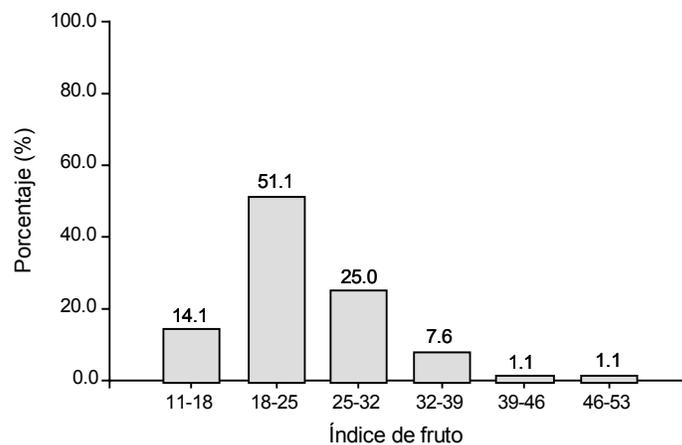


Figura 25. Distribución de frecuencias para el índice de fruto en 92 genotipos de cacao. CATIE (2004).

4.3 Determinación del vigor y del estado general de los árboles superiores en el campo

El estado general de los árboles seleccionados, se determinó empleando cuatro variables cuantitativas (altura, diámetro del tronco, índice de rendimiento y número de ramas) y cinco variables cualitativas (vigor, cantidad de follaje, apertura de la copa, nivel de competencia y nivel de sombra). En el Cuadro 15 se indican los resultados obtenidos para 73 árboles evaluados, los cuales serán descritos en los siguientes acápite.

En el Cuadro 16 se indica la frecuencia que se evidenció para cada una de las categorías. Se puede apreciar que la mayoría de los genotipos evaluados (57,5%) poseen en promedio árboles con una altura de 2,0 m a 2,5 m. Un (73,2%) presentaron un diámetro de 7,8 cm a 14,5 cm registrado para los 60 y 48 meses, dependiendo de los ensayos 56 familias híbridas (L4) y 28 familias híbridas (L5). Para la cantidad de ramas principales este parámetro varió de materiales que presentaron tres ramas (31,5%) a materiales con cuatro ramas (39,7%), el índice de rendimiento agrupo un (47,8%) con un índice de rendimiento bajo de los 71 árboles individuales evaluados para esta fase, debido a que los materiales que pertenecen al ensayo de 42 clones (L6) no tiene los registros del diámetro variable que se requiere para el establecimiento de dicho índice, mientras que el vigor (58,9%) y la cantidad de follaje (58,9%) son de clase media para los genotipos bajo estudio.

En cuanto a las variables categóricas se pudo apreciar que la apertura de copa varió de genotipos que presentaron una copa muy cerrada (27,4%), medianamente cerrada (38,4%) a una apertura de copa medianamente abierta (28,8%). La competencia para la gran mayoría de los materiales es completa (82,2%) y el nivel de sombrío varió de materiales que tienen autosombreamiento (28,8%), seguidos de genotipos que presentaron niveles de sombra del 25% (23,3%) a materiales que poseen más del 50% de sombra (27,4%) y en un menor porcentaje (4,1%) los materiales que tienen como condición la radiación directa.

Cuadro 15. Evaluación de 73 genotipos superiores de cacao: morfología del árbol, índice de rendimiento y niveles de competencia y sombra. CATIE (2004).

Genotipo	Experimento de origen ^{1/}	Variables cuantitativas				Variables categóricas				
		Altura (m)	Cantidad de ramas principales	Diámetro (cm) ^{2/}	Índice de rendimiento ^{3/}	Vigor ^{4/}	Cantidad follaje ^{5/}	Apertura de la copa ^{6/}	Nivel de competencia (%) ^{7/}	Nivel de sombra ^{8/}
CATIE-R8	L4	2,8	4	13,3	0.63	4	4	2	100	1
CATIE-R9	L4	2,5	5	14,5	0.88	4	2	3	100	3
CATIE-R10	L4	3,0	4	13	0.78	3	2	2	100	1
CATIE-R11	L4	2,5	4	9,7	1.52	3	2	2	100	2
CATIE-R12	L4	2,5	3	7,8	1.94	3	2	3	100	4
CATIE-R14	L4	2,5	4	11,1	0.63	3	2	2	100	1
CATIE-R15	L4	2,5	3	10,8	1.19	2	1	4	100	1
CATIE-R16	L4	2,5	3	9,6	0.90	3	2	4	100	1
CATIE-R18	L4	3,0	3	10,6	0.98	3	2	2	100	3
CATIE-R20	L4	3,2	5	12,4	0.81	4	3	4	100	3
CATIE-R22	L4	2,5	3	10,3	1.52	4	3	4	75	2
CATIE-R23	L4	3,5	4	9,7	1.22	3	2	3	100	3
CATIE-R24	L4	3,0	4	10,7	0.95	3	3	2	100	2
CATIE-R26	L4	2,5	3	10,2	1.74	3	2	2	100	2
CATIE-R27	L4	2,5	2	9,6	1.61	2	2	2	100	3
CATIE-R28	L4	3,0	3	11,1	1.08	4	3	3	75	2
CATIE-R29	L4	2,5	4	10,9	1.24	3	2	3	100	1
CATIE-R30	L4	2,5	3	9,7	1.38	2	1	4	75	1
CATIE-R32	L4	2,5	4	10,2	1.26	3	3	4	100	4
CATIE-R33	L4	2,5	2	9,2	1.25	2	2	3	100	3
CATIE-R35	L4	3,0	4	11,1	1.10	4	3	2	100	1
CATIE-R36	L4	2,5	3	10,2	0.88	3	2	3	100	3
CATIE-R37	L4	3,0	4	12,1	0.56	4	3	4	75	3

^{1/} L4 = Ensayo de 56 híbridos, L5 = Ensayo de 28 híbridos.

^{2/} Diámetro de la planta en cm= registrado para L4 a los 60 meses y para L5 a los 48 meses.

^{3/} Cociente resultante del promedio acumulado de la producción de cacao fermentado y seco entre el diámetro de la planta en un tiempo determinado.

^{4/} Escala del vigor del árbol: 1= débil, 2= bajo, 3= medio, 4= alto y 5= muy alto.

^{5/} Escala de la cantidad de follaje 1= poca, 2= baja, 3= media, 4= alta y 5= muy alta.

^{6/} Escala de la apertura de la copa: 1= muy cerrada, 2= medianamente cerrada, 3= medianamente abierta, 4= abierta y 5 muy abierta.

^{7/} Escala del nivel de competencia: 50%= incompleta (rodeada por 2 árboles), 75%= semi-incompleta (rodeada por 3 árboles) y 100%= completa (rodeada por 4 árboles).

^{8/} Escala del nivel de sombra: 0= radiación directa, 1=autosombreamiento, 2= 25% de sombra, 3= 50% de sombra, 4= 75% de sombra y 5>75% de sombra.

Cuadro 15 continuación.

Genotipo	Experimento de origen	Variables cuantitativas				Variables categóricas				
		Altura (m)	Cantidad de ramas principales	Diámetro (cm)	Índice de rendimiento	Vigor	Cantidad follaje	Apertura copa	Nivel de competencia (%)	Nivel de sombra
CATIE-R38	L4	2,5	3	11,5	1.15	3	2	4	75	3
CATIE-R39	L4	3,0	4	10,1	0.89	4	3	3	75	3
CATIE-R41	L4	2,0	5	10,5	0.86	2	1	3	75	3
CATIE-R44	L4	2,5	4	10,8	0.65	3	2	3	100	3
CATIE-R45	L4	3,0	4	9,6	0.90	3	2	2	50	4
CATIE-R46	L4	3,0	3	10,4	0.54	3	2	2	100	2
CATIE-R47	L4	3,0	3	10,9	1.07	1	1	2	100	1
CATIE-R48	L4	3,0	4	11,9	0.62	4	3	3	100	2
CATIE-R49	L4	2,5	4	10,4	1.09	3	2	3	100	1
CATIE-R50	L4	2,4	4	11	0.78	2	1	2	100	1
CATIE-R51	L4	2,5	2	9,2	0.92	2	2	3	100	3
CATIE-R52	L4	2,5	4	10,3	1.00	3	2	2	100	1
CATIE-R55	L4	3,0	5	11	0.90	3	3	2	100	4
CATIE-R56	L4	3,5	4	12,2	0.86	4	4	2	100	2
CATIE-R57	L4	2,5	3	10	2.22	3	3	3	100	3
CATIE-R58	L4	2,5	5	8,5	1.26	3	2	4	100	2
CATIE-R59	L4	2,5	2	10,3	0.70	3	2	3	100	4
CATIE-R61	L4	3,0	3	11,5	1.03	3	3	2	100	4
CATIE-R63	L4	3,0	5	10,3	1.00	4	2	4	100	3
CATIE-R64	L4	3,0	4	----	----	3	2	3	75	1
CATIE-R66	L4	2,5	3	----	----	3	2	3	100	4
CATIE-R67	L5	2,2	4	8.3	1.03	3	3	5	100	0
CATIE-R68	L5	2,0	4	8.6	1.89	3	3	3	100	0
CATIE-R69	L5	3,8	4	9.0	0.97	4	3	4	100	2
CATIE-R72	L5	2,8	4	8.4	1.62	3	3	5	100	4
CATIE-R76	L5	3,0	2	10.3	0.98	4	2	5	100	1
CATIE-R78	L5	3,5	3	9.6	1.13	4	3	3	100	3
CATIE-R80	L5	2,5	2	9.2	1.09	3	3	3	100	1
CATIE-R81	L5	3,5	3	8.5	2.74	4	2	4	75	3
CATIE-R82	L5	2,5	2	8.0	2.46	3	2	4	100	2
CATIE-R83	L5	2,5	2	9.3	1.07	3	3	3	100	2
CATIE-R84	L5	3,0	2	10.2	0.70	4	3	3	75	2

Cuadro 15 continuación.

Genotipo	Experimento de origen	Variables cuantitativas					Variables categóricas			
		Altura (m)	Cantidad de ramas principales	Diámetro (cm)	Índice de rendimiento	Vigor	Cantidad follaje	Apertura de la copa	Nivel de competencia (%)	Nivel de sombra
CATIE-R85	L5	2,5	2	9,3	2,13	3	2	4	100	1
CATIE-R87	L5	2,5	3	8,3	1,08	4	3	4	75	3
CATIE-R88	L5	2,0	2	8,7	1,08	3	2	5	100	2
Catie-1000x CC-137 A ^{7/24}	L4	3,5	4	10,1	0,64	4	3	3	100	4
CC-252 x UF-273 A7	L4	2,5	4	9,6	1,16	3	2	4	100	1
CC-252 x UF-273 A30	L4	2,5	3	8,6	0,84	3	1	3	100	3
CC-252 x UF-273 A31	L4	2,0	4	9,6	0,63	3	1	4	75	3
EET-75 x Catie1000 A28	L4	2,0	3	12,1	0,56	3	2	4	100	1
EET-75 x Catie1000 A30	L4	3,0	3	10,7	0,71	3	3	3	100	2
ICS-95 x Catie1000 A20	L4	3,0	5	11,2	0,60	4	2	3	100	4
ICS-95 x UF-273 A8	L4	2,5	3	10,7	0,37	3	2	4	100	4
PA-169 X UF-273 A13	L5	2,5	4	8,0	0,75	3	3	4	100	4
UF-273 x Catie-1000 A26	L4	4,0	4	14,1	0,36	4	3	2	100	2
UF-273 x CC-137 A2	L4	2,8	4	8,9	1,26	2	1	2	100	1
UF-273 X P-23 A6	L5	2,5	2	7,9	0,95	2	1	4	100	1
UF-273 x POUND-7 A6	L4	3,0	3	12,4	0,47	3	1	3	100	1
UF-273 x SCA-6 A22	L4	2,5	5	11,8	0,65	3	1	2	100	2
UF-712 X ARF-37 A25	L5	2,5	2	8,5	0,73	3	3	3	100	0
Media		2,7	3	10,2	1,06	3	2	3	95	2
Mínimo		2,0	2	7,8	0,36	1	1	2	50	0
Máximo		4,0	5	14,5	2,74	4	4	5	100	4
Desviación estándar		0,4	0,9	1,4	0,4	0,6	0,7	0,8	10,7	1,1
Coefficiente de variación		15,1	26,5	14,0	44,2	21,3	33,0	28,2	11,2	51,9

Cuadro 16. Evaluación de 73 genotipos superiores de cacao: morfología del árbol, índice de rendimiento y niveles de competencia y sombra. CATIE (2004).

Variables	Descriptor	Categoría	Porcentaje (%)
Cuantitativas	Altura (m)	2,0 - 2,5	57,5
		2,5 - 3,0	31,5
		3,0 - 3,5	8,2
		3,5 - 4,0	2,8
	Diámetro (cm)	7.8 - 9.5	25,4
		9,5 - 11,2	54,9
		11,2 - 12,8	14,1
		12,8 - 14,5	5,6
	Índice de rendimiento	0.36-0.96	47,8
		0.96-1.55	39,4
		1.55-2.15	8,4
		2.15-2.74	4,2
Cantidad de ramas principales	2	17,8	
	3	31,5	
	4	39,7	
	5	11,0	
	Vigor	Débil	1,4
Bajo		12,3	
Medio		58,9	
Alto		27,4	
Cantidad follaje	Poca	1,4	
	Baja	12,3	
	Media	58,9	
	Alta	27,4	
Catóricas	Apertura copa	Muy cerrada	
		Medianamente cerrada	27,4
		cerrada	38,4
		Medianamente abierta	28,8
		abierta	5,4
		Abierta	
Nivel de competencia	Incompleta	1,4	
	Semi-incompleta	16,4	
	Completa	82,2	
Nivel de sombra	Radiación directa	4,1	
	Autosombramiento	28,8	
	25% de sombra	23,3	
	50% de sombra	27,4	
	> 75% de sombra	16,4	

4.3.1 Evaluación de variables cuantitativas de la morfología del árbol

4.3.1.1 Altura del árbol

Este parámetro mostró una variación entre 2,0 m (CATIE-R41, CATIE-R68, CATIE-R88, CC-252 x UF-273 A-31 y EET-75 x Catie 1000 A-28) y 4,0 m (UF-273 x Catie 1000 a-26). Se observó que el 57,5% de los genotipos estudiados, se concentró en la clase uno que presenta rangos entre 2,0 m a 2,5 m (Figura 26).

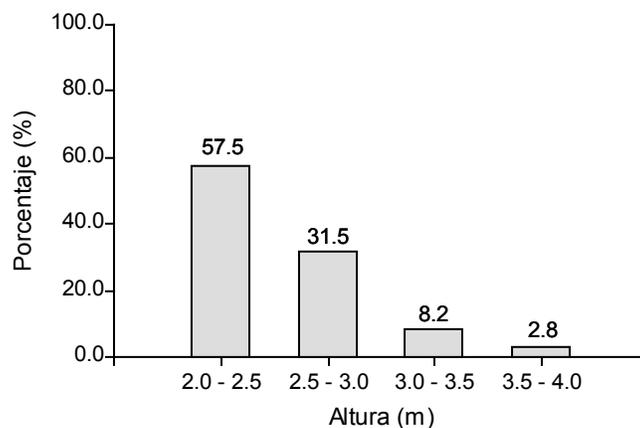


Figura 26. Distribución de frecuencias de la altura de 73 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.3.1.2 Diámetro del tronco

El diámetro de las plantas registró una variación de 7,8 cm (CATIE-R12) a 14,5 cm (CATIE-R84), los valores bajos de diámetro están muy asociados a padres como el UF-273 y el CC-252, mientras que los valores altos tiene como progenitores en algunos de los casos al PA-169 y el UF-712. La distribución de frecuencias para esta variable fue en la clase dos, agrupando el 54,9% de los 71 genotipos estudiados, cuyos rangos están entre 9,5 cm y 11,2 cm. Los valores más bajos de esta variable se relacionan tanto con los árboles que presentan un vigor bajo, una cantidad de ramas principales superiores a tres, una

competencia completa y un el nivel de sombra bajo. Caso contrario a lo ilustrado para los valores superiores 10 cm (Figura 27).

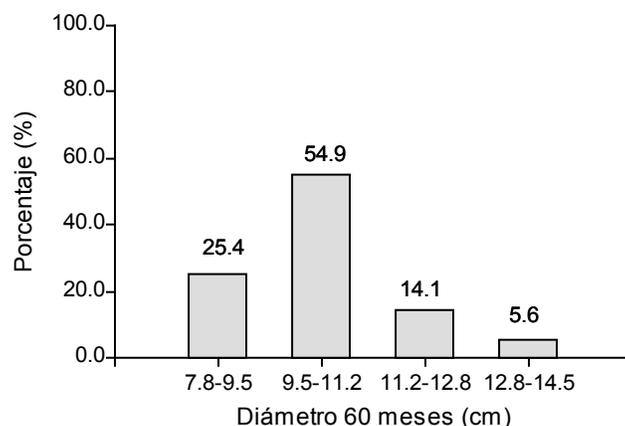


Figura 27. Distribución de frecuencias del diámetro del tronco a los 60 meses de 71 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.3.1.3 Índice de rendimiento

Esta variable se generó al dividir la producción acumulada de cacao fermentado y seco entre el diámetro de la planta. Para el ensayo de 28 híbridos (L5) que cumplió cuatro años de producción se utilizó el diámetro de la planta a los 48 meses, mientras que para el ensayo de 56 híbridos (L4), que cumplió cinco años de producción se empleó el diámetro a los 60 meses, estos registros fueron proporcionados por el Programa de Mejoramiento Genético del CATIE.

El parámetro varió de materiales con índices de rendimiento de 2,74 (CATIE-R81) a 0,36 (UF-273 x catie-1000), con un promedio de 1,06. En la Figura 28 se puede apreciar la distribución de frecuencias para esta variable, la cual indica que la clase uno concentró el 47,8% de los materiales con valores que oscilan entre 0,36 y 0,96 seguida de la clase dos que agrupó el 39,4% con valores que están entre 0,96 y 1,55 para los 71 genotipos evaluados. Este índice permite correlacionar el estado general de la planta con la producción.

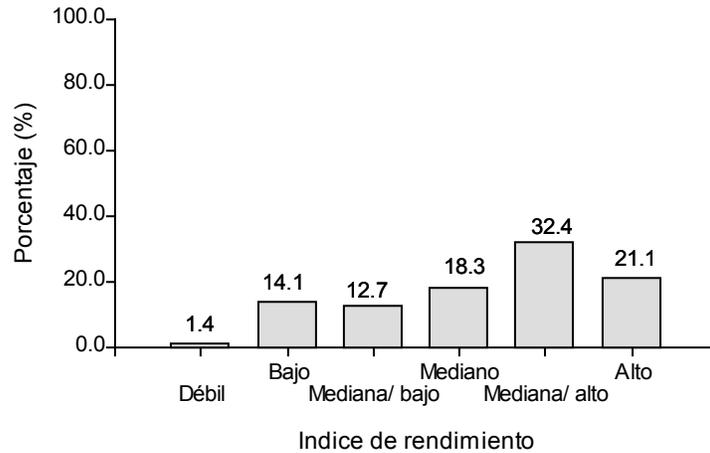


Figura 28. Distribución de frecuencias para el índice de rendimiento de 71 genotipos de cacao. CATIE (2004).

4.3.1.4 Cantidad de ramas principales

En la Figura 29 se puede apreciar que la cantidad de ramas principales presentó una variación de 2 a 5 ramas principales, donde la mayoría de los genotipos (39,7%), presentan cuatro ramas seguidos de un (31,5%) que poseen tres.

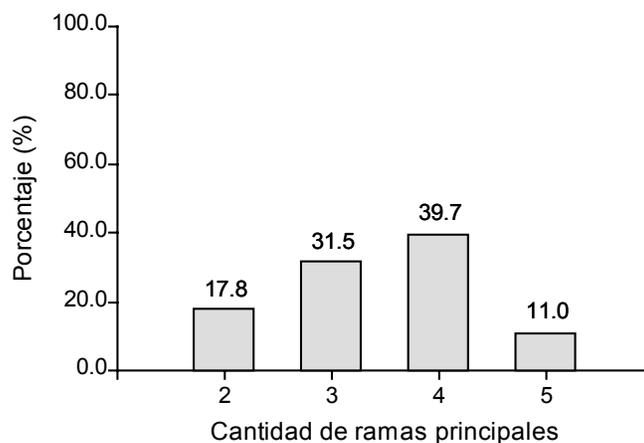


Figura 29. Distribución de frecuencias de la cantidad de ramas principales de 73 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.3.2 Evaluación de variables cualitativas de la morfología del árbol

4.3.2.1 Vigor

Este parámetro varió entre uno que representa el menor (CATIE-R47) y cinco que representa el vigor más alto. La mayoría de los genotipos (58,9%) se agrupa en la clase tres o de vigor medio, seguidos por la clase cuatro (27,4%) que presentan un vigor alto, mientras que la clase dos (12,3%) posee un vigor bajo y en la clase uno se encuentra la menor proporción de individuos (1,4%) con un vigor débil (Figura 30).

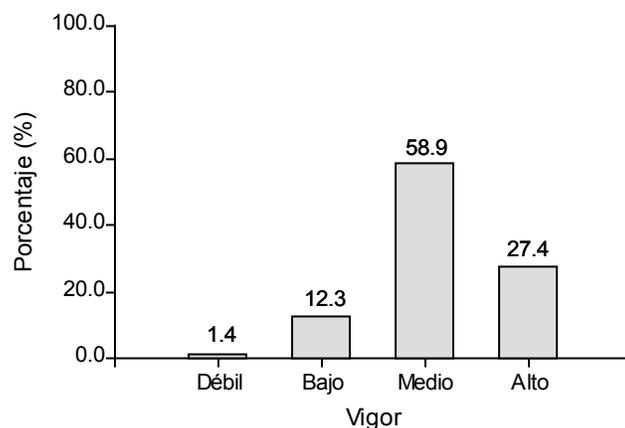


Figura 30. Distribución de frecuencias del vigor de 73 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.3.2.2 Cantidad de follaje

Para la distribución de frecuencias se puede apreciar que existen cuatro clases, donde la más abundante es la clase tres o media y allí encontramos al 58,9% de los genotipos estudiados, seguidos por la clase cuatro o alta que agrupa el 27,4% de la población evaluada (Figura 31).

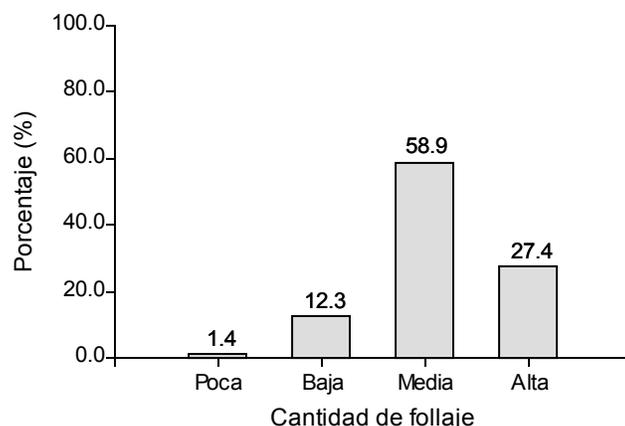


Figura 31. Distribución de frecuencias de la cantidad de follaje de 78 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.3.2.3 Apertura de la copa

Esta variable varió desde una copa cerrada hasta una copa completamente abierta, donde la mayoría de los genotipos evaluados (38,4%) presentaron una apertura de copa medianamente cerrada representada por la clase dos, seguida de un 28,8% que presentaron una copa abierta y esta ilustrada por la clase tres y un 27,4% que esta concentrado en la clase uno (Figura 32).

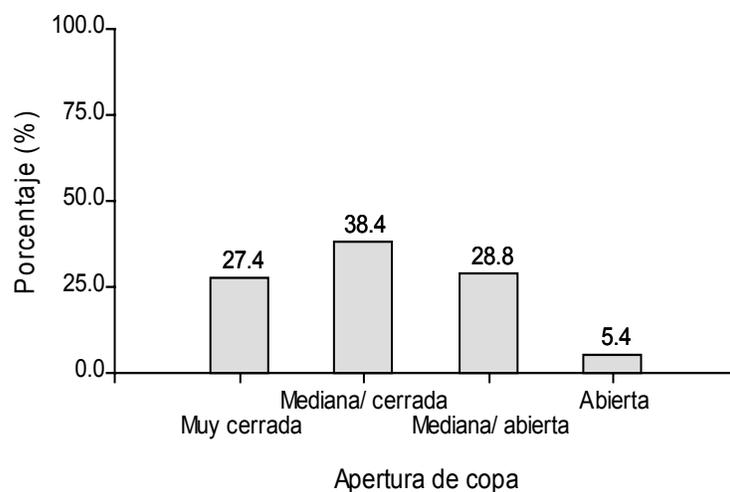


Figura 32. Distribución de frecuencias de la apertura de copa de 78 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.3.2.4 Competencia

En la distribución de frecuencias de esta variable se indica que la mayoría de los genotipos evaluados poseen en promedio una competencia completa (82,2%), seguido por los genotipos que presentan una competencia semi-incompleta (16,4%) y en proporción inferior (1,4%) los materiales que tienen una competencia incompleta (Figura 33).

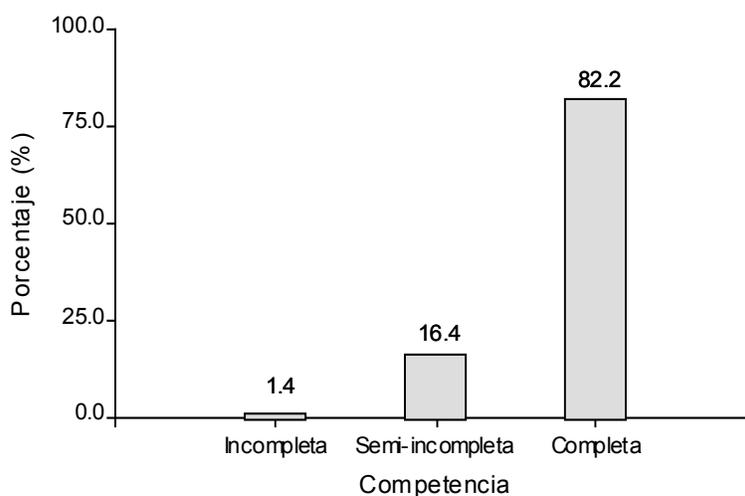


Figura 33. Distribución de frecuencias de la competencia de 78 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.3.2.5 Nivel de sombra

En la Figura 34 se puede apreciar que existieron cinco clases para el nivel de sombra, donde la mayoría de los genotipos estudiados (28,8%) presentaron autosombramiento y estuvo representada por la clase dos, también encontramos que el 23,3% de los árboles tienen sombra en un 25% clase tres, seguidos de la clase cuatro (27,4%) que tienen un nombramiento del 50% y finalmente un 16,4% clase cinco, que estuvo representada por niveles de sombra superiores al 75% y donde existía en las condiciones de campo especies temporales, permanentes y el autosombramiento.

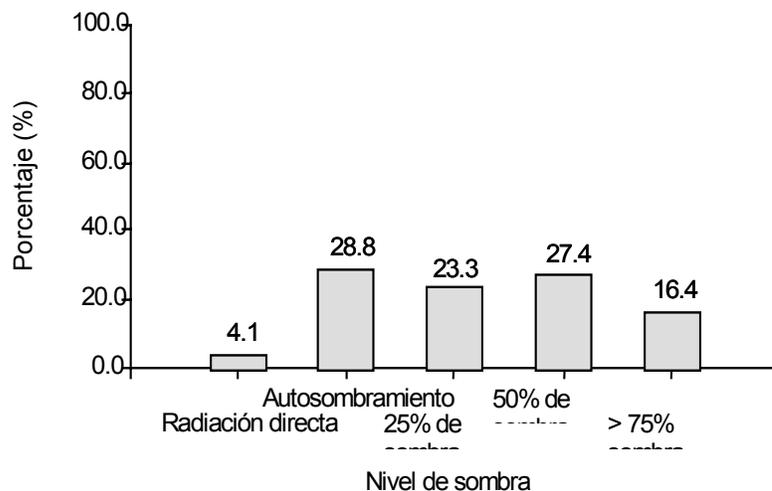


Figura 34. Distribución de frecuencias del nivel de sombra de 78 genotipos superiores de cacao. CATIE (2004).

4.4 Correlaciones múltiples de variables cuantitativas

Se evidenciaron correlaciones altamente significativas ($P < 0,01$) y significativas ($P < 0,05$) (Anexo 1), entre los índices de mazorca, semilla y la producción kg/ha/año, que se encuentran relacionadas a variables como: longitud, diámetro, grosor, profundidad, relación largo/ancho y número de semillas entre otras.

El peso promedio de los frutos de cacao mostró una correlación positiva altamente significativa ($P < 0,01$), con todas aquellas variables del fruto como son: longitud ($r = 0,63$), diámetro ($r = 0,49$), grosor del caballete ($r = 0,52$), profundidad del surco ($r = 0,44$), relación largo/ancho ($r = 0,32$) y el número de semillas por fruto ($r = 0,43$).

La baja correlación entre el peso de la mazorca ($r = 0,23$) y el número de semillas y la alta correlación entre el peso seco de la semilla ($r = 0,54$), sugieren que el peso del fruto se encuentra más influenciado por el aumento en el peso de las semillas, que por el número de estas en el fruto.

En cuanto a los caracteres propios de la semilla la longitud ($r = 0,27$), el diámetro ($r = 0,35$) y el espesor ($r = 0,25$), registraron correlaciones positivas y altamente significativas en relación al peso promedio del fruto. Se encontró una correlación negativa y altamente significativa

($r=-0,63$) entre el índice de mazorca y el peso húmedo de la semilla. El peso promedio de los frutos no presentó correlación con la producción a los 5 y 4 años, ya que este peso depende de la concha y del contenido interno de semillas que contenga el fruto, por lo que no debe considerarse como un buen parámetro para definir la producción.

Se encontraron correlaciones negativas altamente significativas entre el diámetro de la planta y total de frutos cosechados ($r=-0,44$), con el número de frutos sanos de la planta ($r=-0,43$) y frutos enfermos con monilia que afectan la producción de kg/ha/año ($r=-0,37$).

Se observó que la altura de la planta, no presenta correlación con las variables de rendimiento analizadas, pero, el número de ramas evidenció una correlación positiva significativa con el total de los frutos ($r=0,39$) y el diámetro de la planta ($r=0,47$); lo cual se ve reflejado al obtener el índice de rendimiento (medida que se obtuvo al dividir el diámetro de la planta y la producción de cacao seco y fermentado), que mostró una correlación altamente significativa ($r=0,55$) y ($r=-0,75$) para el diámetro y la producción.

Se registró una correlación positiva altamente significativa entre el índice de semilla y número de semillas por fruto ($r=0,41$), sin embargo el valor del coeficiente de correlación es bajo. La mejor correlación corresponde al índice de semilla con la longitud de las mismas ($r=0,57$) siendo positiva y altamente significativa.

El coeficiente de correlación entre el índice de semilla y el peso promedio del fruto fue positivo y altamente significativo ($r=0,36$), pero, no tiene una alta relación entre estas dos variables, sin embargo, todas las características morfológicas de la semilla presentaron coeficientes de correlación positivos y altamente significativos ($r=0,57$), ($r=0,42$) y ($r=0,4$), que sugieren que el peso y las características de la semilla determinan este índice; no obstante, las condiciones morfológicas de la semilla se encuentran influenciadas medianamente por la longitud promedio de los frutos ($r=0,25$) y la forma del mismo.

Se registró una correlación negativa altamente significativa entre los índices de semilla y mazorca ($r=-0,76$), que indican que entre mayor tamaño de la semilla fermentada y seca, menor es la cantidad de frutos necesarios para poder obtener un kilogramo de cacao fermentado y seco.

4.5 Evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora*

La incidencia y severidad de *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao se evaluó usando dos métodos: inoculación de segmentos de frutos (1) e inoculación de frutos enteros (2). Se encontró una diferencia significativa ($P \leq 0,0189$) con un $\alpha = 0,05$ entre los procedimientos. El método de inoculación de fruto entero presentó mayor efectividad frente a la otra técnica, para la cual, las infecciones no fueron muy consistentes y hubo mucha variación entre repeticiones.

Con el método (2), se registró una incidencia promedio para los 28 genotipos de 53% y un diámetro promedio de lesión de 5,2 cm. En tanto que con el método (1) estos valores fueron de 40,1% y 2,5 cm respectivamente (Cuadro 17 y Figura 34).

Al evaluar la reacción de los clones utilizados como testigos tanto resistentes (Pound-7) como susceptibles (CCN-51) en las dos localidades del ensayo, Turrialba y La Finca la Lola, se determinó que no existen diferencias significativas ($P = 0,1279$) en cuanto al método de inoculación y la localidad.

Se observó que el CCN-51 tuvo incidencia promedio superior a 87,5% cuando fue inoculado en ambas localidades y usando ambos métodos de inoculación. Este material obtuvo una severidad de 10,1 cm en Turrialba y de 8,5 cm en la Lola, usando frutos enteros. Pero estos valores fueron de 5,0 cm y 6,5 cm cuando se inocularon segmentos de frutos, lo cual reafirma la mayor eficiencia del método.

Con relación al Pound-7 se demostró la gran resistencia que posee este clon, para lo cual los frutos enteros y segmentos de ellos procedentes tanto de Turrialba y la Lola, muestran la misma infección. De igual forma, se indica para los testigos absolutos (inoculaciones con agua), para los cuales sí se obtuvieron algunas infecciones en el caso del CCN-51 pero únicamente cuando se inocularon frutos enteros.

Cuadro 17. Evaluación de 10 genotipos superiores de cacao: métodos de inoculación de *Phytophthora palmivora*. CATIE (2004).

Genotipo		Métodos de Inoculación			
		Inoculación de segmentos de fruto (Método 1)		Inoculación frutos enteros (Método 2)	
		Severidad ^{1/} (cm)	Incidencia ^{2/} (%)	Severidad (cm)	Incidencia (%)
CATIE-R1		1,99 a ^{3/}	37,50 b	6,50 b	50,00 b
CATIE-R2		0,00 a	0,00 a	8,90 c	87,50 c
CATIE-R3		3,00 a	37,50 b	9,30 c	83,33 c
CATIE-R4		1,13 a	25,00 a	9,89 c	88,11 c
CATIE-R5		0,00 a	0,00 a	4,22 b	41,18 b
CATIE-R6		2,01 a	25,00 a	5,21 b	45,00 b
CATIE-R7		0,40 a	12,50 a	4,15 b	25,00 a
Testigos resistentes	Pound-7 Turrialba	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
	Pound-7 La Lola	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Testigos susceptibles	CCN-51 Turrialba	5,06 b	87,50 c	10,10 c	87,50 c
	CCN-51 La Lola	6,53 b	100,00 c	8,55 c	87,50 c
Testigos absolutos con agua	Pound-7 Turrialba	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
	Pound-7 La Lola	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
	CCN-51 Turrialba	0,00 a	0,00 a	1,00 a	14,29 a
	CCN-51 La Lola	0,00 a	0,00 a	0,10 a	16,67 a
Media		1,34	21,67	4,53	41,74
Mínimo		0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo		6,53	100	10,1	88,11
Desviación estándar.		2,06	32,55	4,11	36,72
Coefficiente de variación.		153,94	150,23	90,77	87,96

^{1/}=Severidad: Determinada con base al diámetro promedio de la lesión.

^{2/}=Incidencia: Número de trozos ó frutos con síntomas.

^{3/}=Valores en la columna seguidos por la misma letra, no tienen diferencias significativas de acuerdo con la prueba de LSD ($P \leq 0,05$).

En la Figura 35 se puede apreciar que el método (2) presenta una mayor efectividad, alcanzando niveles de severidad que variaron de 10,1 cm (CCN-51Turrialba) a 0,0 (testigos resistentes y absolutos), con un promedio de lesión de 4,5 cm en relación con el método (1), que presentó niveles de severidad de 6,5 cm (CCN-51 La Lola) a 0,0 cm (CATIE-R5, los testigos resistentes y absolutos) y un promedio de lesión de 1,3 cm, que permiten reafirmar la efectividad en el método de inoculación de fruto entero.

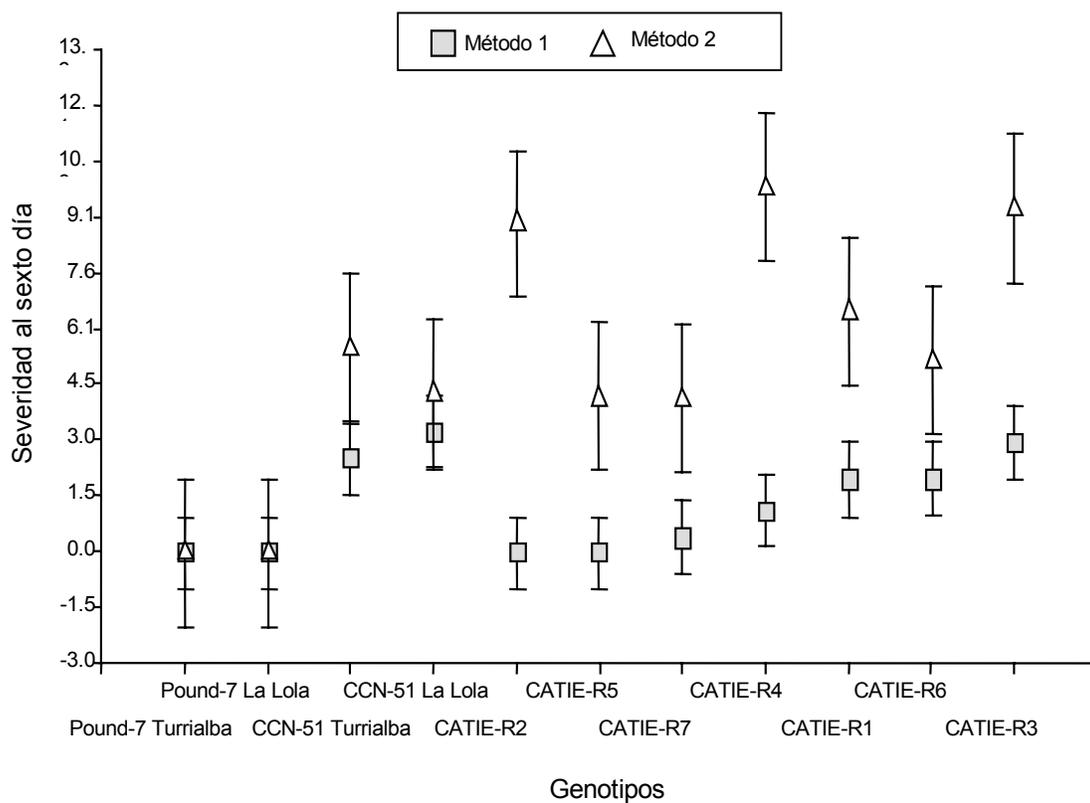


Figura 35. Diagrama de dispersión de puntos para el efecto de los métodos de inoculación de *Phytophthora palmivora*. CATIE (2004).

Una vez que se determinó que el método de inoculación de fruto entero, presentaba mejor efectividad, todos los genotipos superiores con frutos disponibles durante el periodo de investigación fueron inoculados usando dicho método. (Figura 36 y Cuadro 18).

El Cuadro 18 ilustra el diámetro promedio de la lesión (severidad), que varió de 0,03 cm a 18,3 cm (CATIE-R67). Con esta variable los genotipos fueron clasificados en cuatro grupos. Muchos genotipos mostraron una reacción resistente (CATIE-R66, CATIE-R68, CATIE-R71, CATIE-R72 y CATIE-R74 entre otros), con valores que oscilaron entre 0.0 cm a 0,4 cm. Otros genotipos tienen una reacción moderadamente resistente entre ellos el PA-169 y el ICS-95, para este grupo la severidad varió entre 2,3 cm a 4,1 cm.

De igual forma se encontró genotipos que presentan una reacción moderadamente susceptibles (CATIE-R5, CATIE-R6, CATIE-R7, CATIE-R47 y CC-137), donde la severidad mostró valores que están entre 4,2 cm a 5,8 cm. Finalmente se pudo apreciar materiales susceptibles (UF-273 tipo I, EET-183, ARF-6 y el CC-252 entre otros), cuyos valores oscilaron entre 5,8 cm y 18,3 cm.

Al comparar la inoculación artificial contra la incidencia natural, podemos apreciar que esta sólo difiere en valores de incidencia mucho más bajos que no superan el 12% (ICS-43 Red), lo cual permite sugerir que este es un buen parámetro de pre-selección de los materiales, pero que deben de ser inóculados de manera artificial bajo una condición de alta y uniforme presión de inóculo para apreciar el verdadero comportamiento de cada uno de los genotipos.

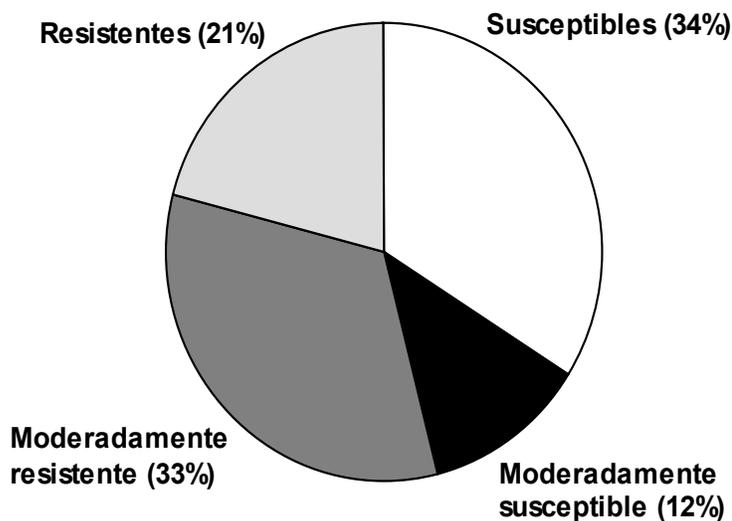


Figura 36. Proporción de genotipos superiores con su reacción a *Phytophthora palmivora*. CATIE (2004).

Cuadro 18. Evaluación de genotipos superiores de cacao: inoculación a *Phytophthora palmivora*. CATIE (2004).

Categoría	Genotipo	No. de frutos evaluados ^{1/}	Severidad ^{2/} (cm)	Incidencia ^{3/} (%)	Incidencia Natural ^{4/} (%)
R	CATIE-R66	1	0,0 a ^{5/}	0,0 a	0,0
R	CATIE-R68	1	0,0 a	0,0 a	0,0
R	CATIE-R71	4	0,0 a	0,0 a	0,5
R	CATIE-R72	1	0,0 a	0,0 a	1,6
R	CATIE-R74	3	0,4 a	16,6 a	1,3
R	ARF-22	4	0,0 a	0,0 a	0,5
R	GU-33N	2	0,0 a	0,0 a	0,0
R	SCA-6	5	0,0 a	0,0 a	2,8
Media		---	0.1	2.1	0,8
MR	CATIE-R44	1	3,7 b	100,0 d	0,7
MR	CATIE-R45	1	2,4 b	100,0 d	0,5
MR	CATIE-R70	4	4,1 b	100,0 d	1,1
MR	CATIE-R75	4	2,3 b	75,0 c	0,0
MR	CATIE-R78	4	2,5 b	100,0 d	0,7
MR	CATIE-R80	1	3,2 b	100,0 d	1,2
MR	CATIE-R82	1	3,5 b	100,0 d	0,9
MR	ICS-95	13	2,3 b	27,8 b	7,9
MR	PA-169	12	2,4 b	33,3 b	0,7
Media		---	2.9	81.8	1,5
MS	CATIE-R5	17	4,2 c	41,1 b	0,7
MS	CATIE-R6	10	5,1 c	45,0 b	0,2
MS	CATIE-R7	2	4,1 c	25,0 a	8,9
MS	CATIE-R47	2	5,8 c	75,0 c	4,8
MS	CC-137	2	5,3 c	100,0 d	1,9
Media		---	4.9	57.2	3,3
S	CATIE-R1	2	6,5 d	50,0 b	8,7
S	CATIE-R2	4	8,9 d	87,5 d	11,0
S	CATIE-R29	1	7,2 d	100,0 d	0,5
S	CATIE-R3	6	9,2 d	83,3 d	2,1
S	CATIE-R4	18	9,8 d	86,1 d	0,6

^{1/} = Número de frutos: Es el número de mazorcas que fueron evaluados por genotipo,

^{2/} = Severidad: Determinada con base al diámetro promedio de la lesión,

^{3/} = Incidencia: Número de frutos con síntomas.

^{4/} = Incidencia Natural: Tomada de la base de datos del Programa de Mejoramiento Genético del CATIE.

^{5/} = Letras distintas entre columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de LSD.

Cuadro 18 continuación.

Categoría	Genotipo	No. de frutos evaluados	Severidad (cm)	Incidencia (%)	Incidencia Natural (%)
S	CATIE-R40	4	8,1 d	87,5 d	0,9
S	CATIE-R49	5	7,4 d	90,0 d	2,4
S	CATIE-R67	1	18,3 d	100,0 d	3,3
S	CATIE-R81	2	10,1 d	90,0 d	0,0
S	ARF-6	3	7,9 d	83,3 d	7,9
S	CC-252	4	7,8 d	100,0 d	4,3
S	EET-183	3	11,0 d	100,0 d	2,9
S	ICS-43 Red	5	10,7 d	100,0 d	11,6
S	PMCT-58	11	10,2 d	90,9 d	7,4
S	SGU-84	5	10,1 d	100,0 d	6,3
S	UF-273 (Tipo I)	2	8,9 d	100,0 d	4,5
Media		---	9,4	91,1	4,6

R	Testigos resistentes	Pound-7 Turrialba	6	0,0 a	0,0 a	----
R		Pound-7 La Lola	5	0,0 a	0,0 a	0,4
S	Testigos susceptibles	CCN-51 Turrialba	8	9,9 d	87,5 d	----
S		CCN-51 La Lola	8	8,5 d	87,5 d	5,4
R	Testigos absolutos con agua	Pound-7 Turrialba	5	0,0 a	0,0 a	----
R		Pound-7 La Lola	7	0,0 a	0,0 a	----
R		CCN-51 Turrialba	6	0,8 a	87,5 d	----
R		CCN-51 La Lola	7	0,9 a	87,5 d	----

4.6 Determinación de la autocompatibilidad

Se realizaron polinizaciones artificiales en 62 árboles superiores, que fueron los que presentaron disponibilidad de flores. La autocompatibilidad se evaluó en función del porcentaje promedio de prendimiento de flores evaluadas a los 10 días. Esta variable fue transformada a raíz cuadrada del arcóseno de la proporción. Los árboles autocompatibles fueron aquellos con prendimientos superiores al 14% (>0,37 valor de la transformación), con base en esto, se determinó que 42 árboles (67,7%) fueron autocompatibles y 20 (32,2%) fueron autoincompatibles (Cuadro 19).

Cuadro 19. Evaluación de 62 genotipos superiores de cacao: compatibilidad. CATIE (2004).

Clasificación de los grupos	Medias (%)	Medias raíz cuadrada del arcoseno de la proporción
Autoincompatibles	0,60 a ^{1/}	-0,77a
Compatibles inferiores	14,72 b	0,55 b
Medianamente compatibles	32,54 c	1,00 c
Compatibles totalmente	58,94 d	1,50 d

^{1/}=Letras distintas entre columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), Prueba de LSD.

Los resultados indican que existen diferencias entre el porcentaje de prendimiento en cada uno de los árboles con una ($P \leq 0,001$) y un $\alpha = 0,05$. Se demostró la formación de cuatro grupos diferentes cuyo comportamiento de la variable dependiente se ilustra en el Cuadro 20 y Figura 37).

Cuadro 20. Estadística descriptiva para cada uno de los conglomerados formados. CATIE (2004).

Conglomerado	Muestra	Media	%	D.S.	Mínimo	Máximo
Autoincompatibles	20	0,6	32,25	1,26	0,0	3,89
Compatibles inferiores	15	14,72	24,19	5,97	7,5	25,0
Medianamente compatibles	12	32,54	19,35	4,66	27,5	42,5
Compatibles totalmente	15	58,94	24,19	10,1	46,88	85,74

El porcentaje de la variable prendimiento determina que estas categorías dadas arbitrariamente, dependen muy posiblemente de diversos factores, como hora en la que se realizó el aislamiento (entubado) y la polinización; temperaturas fluctuantes mínima, máxima y media en cada uno de los eventos, pluviosidad y polinizador.

Los anteriores factores evidenciaron correlaciones medianamente significativas como la temperatura mínima tanto para el aislamiento ($r = 0,1158$) como para la polinización ($r = 0,1408$) y los días de lluvia en los cuales se realizaron los eventos de aislamiento y polinización ($r = 0,1289$) y ($r = 0,1628$) respectivamente, afectan el porcentaje de prendimiento de las flores, haciéndose más relevante a temperaturas inferiores a los 22 °C y días de lluvia superiores a uno (Anexo 2).

Los coeficientes de correlación fueron medianamente bajos, debido posiblemente a que se trabajó con el promedio de las horas en las cuales se llevaron acabo el entubado y la polinización y no a la hora exacta en que se realizaron los eventos o posiblemente al tamaño muestral manejado.

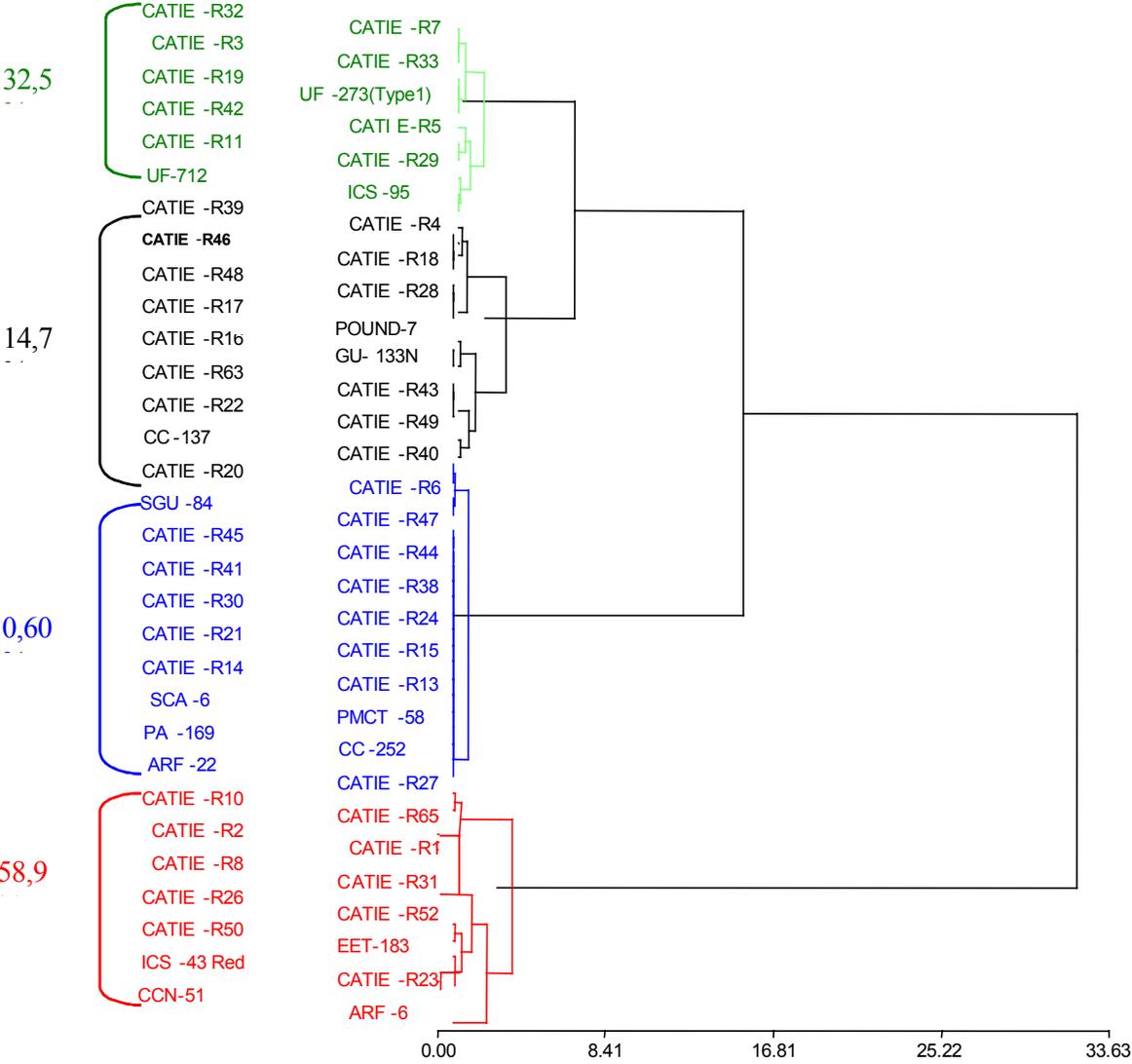


Figura 37. Dendrograma del agrupamiento de los 62 genotipos de cacao evaluados de acuerdo a la compatibilidad, según el método WARD y la distancia Euclidiana. CATIE (2004).

5 DISCUSIÓN

Las enfermedades fungosas son uno de los principales factores limitantes para la actividad cacaotera mundial. Aunque endémica del continente americano, la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) es una de las enfermedades más dañinas. La sucesiva diseminación de esta enfermedad en América tropical, ha reducido significativamente su potencial productivo, causando inclusive el abandono de muchas plantaciones (Phillips-Mora, 2003). Paradójicamente, el cacao se originó en esta región por lo que existe en ella el mayor acervo genético de la planta, sin embargo, hasta hace muy pocos años, los Programas de Mejoramiento Genético no habían hecho progresos significativos en el control genético de estas enfermedades aprovechando esta diversidad.

La presente investigación se enmarca dentro de un esfuerzo iniciado por el CATIE hace ocho años tendiente a desarrollar genotipos superiores de cacao en términos de producción, resistencia a moniliasis, mazorca negra y calidad industrial. Para esto se ha hecho uso de los valiosos recursos genéticos depositados en su Colección Internacional de Germoplasma. En esta investigación, se caracterizaron 78 árboles individuales y 25 clones de cacao (algunos actuando como testigos) seleccionados de los campos experimentales del CATIE por su notable producción y/o resistencia a *M. roreri*. El uso de parámetros de diversa naturaleza, tanto morfofisiológicos como fitopatológicos, permitió acumular una gran cantidad de información nueva, distinguir los materiales fenotípicamente y contar con mayores elementos de juicio para seleccionar los genotipos más sobresalientes en cuanto a dichas características (CATIE, 2003).

Esta información será básica para orientar las siguientes fases del Programa de Mejoramiento Genético del CATIE. Esto es coherente con los objetivos que según el IPGRI (2000) se deben alcanzar dentro de los programas modernos de mejoramiento genético de cacao, que se resumen en la obtención de árboles pequeños adaptados a altas densidades de siembra, niveles suficientes de resistencia a las enfermedades, precocidad, alta floración especialmente en el tronco, auto-compatibilidad, alto número de óvulos para maximizar la formación de almendras, mazorcas grandes con buen peso tanto seco como húmedo para favorecer los índices de semilla y de fruto que han sido identificados como caracteres de alta heredabilidad.

Históricamente, los primeros estudios para la selección de materiales superiores se hicieron considerando los índices de mazorca y semilla (Pound 1932), sin embargo dichos parámetros han sido ampliados a través del tiempo hasta incluir diferentes variables como son el número de frutos por árbol, número de semillas por fruto, peso seco y húmedo de las semillas, tasa de conversión del peso húmedo a seco, contenido de testa y grasa, etc. (Powell 1982; Lockwood 1976; Soria 1978 y 1975; Soria *et al.*, 1974; Atanda 1972; Atanda y Toxopeus 1971; Bartley 1969; Esquivel y Soria 1967, Ruinard 1961 y Koppers 1953). Por razones obvias, la mayoría de los parámetros están orientados a la selección de genotipos de alta producción sin considerar otros aspectos.

En la presente investigación se presta también énfasis en el uso de otros parámetros de carácter práctico, que permitieran por una parte caracterizar los materiales fenotípicamente, y por otra parte identificar los genotipos más productivos y resistentes, pero también definir si existían condiciones agroambientales que favorecieran a los árboles en el campo y que explican su buen desempeño como lo afirma Atanda y Jacob (1975) quienes definen que el rendimiento del cacao es afectado también por las condiciones ambientales donde se encuentre la plantación. A continuación se discuten los resultados encontrados.

5.1 Cuantificación de la producción

La producción de cacao normalmente se expresa en kilogramos de cacao seco (peso seco), lo cual implica que las muestras deben fermentarse y secarse. Esto implica un gran esfuerzo que es proporcional a la cantidad de genotipos evaluados. Bajo condiciones experimentales, es común que este parámetro sea estimado a través del número de frutos producidos o del peso húmedo de las semillas (semillas + mucílago), sin embargo, las conversiones a peso seco no son muy precisas. Así por ejemplo, al usar el número de frutos es frecuente sobreestimar la producción de aquellos materiales que poseen muchas mazorcas pero de tamaño muy pequeño (Esquivel y Soria 1967; Bartley 1971; Atanda y Jacob 1975). Aunque el peso húmedo es un parámetro más preciso, la cantidad de agua de las semillas y del mucílago es variable entre genotipos, por lo que al usar un único factor de conversión a peso seco, se generan también imprecisiones.

Debido a la gran cantidad de árboles evaluados y a la frecuencia mensual de las evaluaciones, la estimación de la producción en los ensayos del CATIE se ha hecho con base en el número de frutos, aunque recientemente también se evalúa el peso húmedo. De hecho, la selección de los árboles superiores incluidos en la presente investigación se hizo con base en los registros de frutos cosechados durante 4-5 años de establecido cada uno de los ensayos.

Consecuentemente, uno de los principales objetivos de esta investigación fue determinar con más precisión la capacidad productiva de los árboles. En este sentido, la determinación del índice de mazorca para cada genotipo evaluado, permitió conocer la cantidad de frutos necesarios para producir un kilogramo de cacao fermentado y seco, lo cual fue utilizado también para estimar la producción. Aunque el promedio para el índice de mazorca fue de 25 frutos, se observó mucha variación en este parámetro pues algunos materiales requirieron de 11 frutos para completar el kilogramo de cacao, en tanto que en otros fueron necesarios 53 frutos, o sea, casi cinco veces más.

Esto tiene consecuencias prácticas, pues el agricultor tendría que cosechar y procesar una gran cantidad de mazorcas adicionales si tuviera sembrado el último genotipo en vez del primero. Un índice de mazorca adecuado no debería superar las 25 mazorcas (Bekele y Butler 1998). No obstante otros estudios hacen referencia a que para obtener este índice se necesitan 18 mazorcas, agrupadas en los forasteros IMC-67, POUND-7 y POUND-12; en los trinitarios del grupo de los ICS; en los ecuatorianos EET-400, CCN-51, y en los costarricenses UF-613 (Angulo *et al* 2001). Sin embargo, varios de los genotipos analizados superan esta cantidad. Sería importante que con base en esta información se analizara la conveniencia de mantener dichos materiales dentro del Programa de Mejoramiento en caso de que porten alguna (s) característica (s) notable (s) que por hibridación podrían ser aprovechadas, o si por el contrario deben ser eliminados del mismo.

También se encontró una gran variación en la producción, el promedio de todos los genotipos se acerca a los 1.000 kg/ha/año que fue el valor que se utilizó para seleccionarlos con base en el número de frutos. Es evidente sin embargo, que algunos de los materiales no llenaron estas expectativas, pues su producción fue incluso inferior a los 600 kg/ha/año. Esto confirma el hecho de que las estimaciones de la producción basadas en el número de frutos sirven únicamente para hacer una selección preliminar de los mejores materiales, pero que

posteriormente es necesario determinar el parámetro con mayor precisión, empleando por ejemplo el índice de fruto.

Es de resaltar que algunos árboles por el contrario registraron producciones superiores a 2.000 kg/cacao/año a pesar de la alta presión de inóculo de moniliasis en el área y la corta edad de los árboles. La producción de los clones fue en general muy baja a pesar de que dentro de ellos existen genotipos conocidos internacionalmente por su alta producción como son CCN-51, Pound-7 e ICS-95. En el caso del Pound-7, este comportamiento se explica por la alta incidencia de monilia que hizo perder el 77,7% de sus frutos.

La mayoría de los genotipos tuvieron índices de semilla superiores a 1,0 g lo cual es importante pues este es el valor mínimo aceptable desde el punto de vista industrial. Las semillas pequeñas además de que pueden quemarse durante su industrialización con lo que se reduce la calidad del producto final, tienen un menor rendimiento que las semillas grandes porque su testa (la cual se elimina en el proceso) es proporcionalmente mayor. Con excepción del CCN-51 y del UF-273 Tipo I, todos los clones que sirvieron de progenitores de los árboles que se estudiaron en esta investigación tuvieron índices de semilla cercanos a uno, lo que explica que este parámetro no registrara valores muy altos y sólo excepcionalmente superara los 2 g. Por otra parte, es importante resaltar que se encontró una correlación negativa altamente significativa entre los índices de semilla y fruto, que indica que entre mayor es el tamaño de la semilla, menor será la cantidad de frutos necesarios para obtener un kilogramo de cacao.

El índice de rendimiento es un parámetro recientemente sugerido por IPGRI (2000), que busca relacionar la producción de los árboles con el vigor que ellos muestran, este índice se determina indirectamente con el diámetro del tronco y el acumulado de la producción. Estudios realizados en Costa de Marfil (Sounigo *et al.*, 1994), indican que se debe de combinar el alto rendimiento con la búsqueda de materiales de vigor bajo y/o medio, esto por cuanto se sabe que existen árboles muy productivos debido a que son tan vigorosos que inclusive invaden el espacio aéreo y subterráneo de sus vecinos. Esta variable mostró una fuerte variación en este estudio, desde altos (21,1%) a débiles (15,5%).

De acuerdo con el IPGRI (2000) el valor ideal debería ser entre tres y cuatro para el vigor en tanto que para el índice de rendimiento entre más alto sea el valor es mejor la correlación existente entre la producción y el vigor de las plantas. Por lo tanto en esta investigación casi la mitad de los genotipos (47,8%) registran valores inferiores a los propuestos.

La necesidad de encontrar materiales que presenten un vigor intermedio, un número de ramas no superior a cuatro, con una apertura de copa abierta y menor cantidad de follaje optimizan el rendimiento el cual se ve reflejado al maximizar la capacidad fotosintética de los árboles de cacao, que a su vez esta correlacionado con la arquitectura de la planta (Ticha *et al* 1985).

En esta investigación es relevante mencionar que 58,9% tienen un vigor intermedio al igual que cantidad de follaje media, condiciones netas de la planta. Sin embargo, encontrar que el 38,4% y el 28,8% poseen una copa medianamente cerrada, con nivel de autosombramiento, influyen directamente en parámetros como la incidencia a enfermedades y niveles de bajo rendimiento, como lo sugieren estudios que evidencian que el incremento en la luz (cantidad de follaje), hace que haya un incremento en el rendimiento, una menor incidencia a las enfermedades y árboles que presentan un alto vigor, incrementan la competencia por nutrientes, demanda de luz y densidad de siembra (IPGRI 2000; Enríquez 2004).

Se observaron importantes diferencias entre los genotipos evaluados en el diámetro del tronco, así como en otras variables relacionadas con el vigor de la plantas, sin embargo, fue difícil explicar el comportamiento de los genotipos en términos de producción o resistencia con base en estos parámetros. Lo ideal es multiplicar los materiales vegetativamente y sembrarlos bajo condiciones experimentales para poder determinar mejor cual es la contribución genética sobre los parámetros de estudio. Es importante anotar que se observó que la altura de la planta no presenta correlación con las variables de rendimiento analizadas, pero que el número de ramas si se correlacionó significativamente con el total de frutos cosechados y con el diámetro de la planta a los cinco y cuatro años.

5.2 Resistencia genética a enfermedades

Para determinar la resistencia a moniliasis se usaron los registros de incidencia natural de 4-5 años del Programa de Mejoramiento del CATIE. Dada la alta incidencia natural de moniliasis en la Finca La Lola, esta área se considera ideal para realizar los estudios de resistencia genética. Al respecto se observó que clones susceptibles como el Pound-7 perdían casi un 80% de los frutos debido a esta causa. Algunos de los árboles registraron incidencias superiores al 35% debido a que ellos fueron seleccionados más bien por su alto rendimiento. En el caso de los clones, la mayoría registró incidencias inferiores al 26% por que de hecho habían sido seleccionados por su resistencia a la enfermedad, salvo algunos clones que actuaron como testigos. La baja proporción de frutos enfermos en muchos de los materiales estudiados es muy relevante pues muestra el gran potencial de la resistencia genética para reducir los daños de la moniliasis.

Aunque la mazorca negra (*P. palmivora*) usualmente no causa daños importantes en la producción cuando la moniliasis está presente, es un hecho que podría incrementar su importancia al introducirse genotipos resistentes a *M. royeri* pues habría una mayor disponibilidad de frutos a ser afectados. No se debe olvidar que la mazorca negra es actualmente la enfermedad del cacao más importante a escala mundial por lo que la selección de genotipos resistentes se considera también una prioridad para el Programa de Mejoramiento del CATIE. De hecho, la incidencia natural a *P. palmivora* es uno de los parámetros que rutinariamente se contabiliza. Con el objeto de corroborar la información obtenida durante varios años y ante la premisa de que la presencia de moniliasis no permitía determinar con precisión ese parámetro directamente en el campo, se realizaron inoculaciones artificiales de los genotipos para determinar su reacción al patógeno (Phillips 2005).

Inicialmente se evaluaron dos métodos de inoculación usando segmentos de frutos o frutos enteros encontrándose que el primer método no era muy eficiente. Consecuentemente los genotipos se evaluaron usando frutos enteros inoculados en el laboratorio con muy buenos resultados. Al respecto es importante mencionar que el método de inoculación de fruto entero con discos de papel, es un buen método porque produce una infección y permite clasificar adecuadamente la reacción de los materiales, debido a que la cobertura que proporciona el papel en el sitio de penetración reduce la evaporación del agua y garantiza el

suministro de agua libre, durante los procesos previos de penetración del hongo, además que la bolsa de polietileno provee un microclima más uniforme, que protege al inóculo de factores adversos tales como la lluvia y el viento (Phillips y Galindo 1989).

Otra de las grandes ventajas que presenta este método, es que al realizar la inoculación en dos puntos del ecuador de la mazorca, crea un mejor desarrollo para el patógeno, facilita la medición de la lesión y crea una repetición adicional en cada material evaluado, lo que permite hacer una selección más estricta de los genotipos (Phillips y Galindo 1989; Wharton 1959 ; Lawrence 1978).

A partir de las inoculaciones de frutos, en esta investigación se obtuvo una alta proporción de cultivares resistentes (21%) y materiales moderadamente resistentes (33%), lo cual se debe posiblemente, a que la resistencia a *P. palmivora* ha sido uno de los principales parámetros de selección de materiales promisorios en la mayoría de los Programas de Mejoramiento Genético.

También se observó que algunos materiales que habían registrado gran resistencia de campo, mantenían su reacción al inocularlos artificialmente, sin embargo, en otros casos su resistencia se reducía drásticamente en las pruebas de laboratorio. Solamente en un caso se observó una situación inversa, pues un genotipo que había mostrado una incidencia de campo considerable (ICS-95), registró una reacción moderadamente resistente al patógeno bajo condiciones artificiales. Se concluye que la incidencia natural es útil para la selección preliminar de genotipos resistentes a *P. palmivora* pero la misma debe ser corroborada con inoculaciones artificiales. Se debe tener presente que en el campo la presión de inóculo, las condiciones microambientales y la cepa del hongo pueden variar significativamente, lo que explica las inconsistencias entre la incidencia natural y las pruebas artificiales (Phillips 2005).

Se encontraron correlaciones altamente significativas entre el número de frutos sanos y la cantidad de frutos enfermos con mazorca negra, lo que fue evidente cuando se corrió un modelo de regresión lineal que indica que entre más frutos se produzcan la incidencia de mazorca negra se incrementa. Esto es apoyado por estudios que afirman que árboles con mayores rendimientos tienen una proporción mayor de mazorca negra que los de menores rendimientos (Thorold, citado por Porras *et al.* 1986;. Maddison y Griffin 1981; Gregory 1974). Esto puede estar asociado a la forma de diseminación del inóculo de *P. palmivora*, la

cual se lleva acabo por medio de la lluvia que corre a lo largo de las ramas y el tronco, infectando frutos que se encuentran cercanos o agrupados entre sí (Capriles de Reyes 1980).

5.3 Autocompatibilidad

En la presente investigación se encontró que de los 62 árboles superiores evaluados el 67,7% fueron autocompatibles y 32,2% autoincompatibles. La mayor proporción de árboles autocompatibles en la presente investigación es de relevancia porque la autocompatibilidad es un parámetro que ha sido relacionado con una mayor producción. Se ha observado que los árboles autocompatibles muestran una tendencia a tener producciones superiores a los 1000 kg/ha/año que los árboles no compatibles (IPGRI 2000). De igual forma, estudios realizados por Voelcker (1938) y Lockwood (1977) indican que los árboles autocompatibles tienen más número de mazorcas que los incompatibles y que el rendimiento es mayor. Desde un punto de vista más práctico, la presencia de materiales autocompatibles en el campo puede ser compensado con la siembra de varios materiales en el campo que incrementen las posibilidades de inter cruzamiento entre los mismos (Enríquez y Alarcón 1977; Enríquez 2004).

Es relevante mencionar que se clasificaron los materiales en grupos de acuerdo al porcentaje de prendimiento el cual debería ser superior al 40%, razón por la cual, no se puede asegurar que niveles inferiores a este indiquen que los árboles sean incompatibles, si no que tal vez, esto se deba a que en ocasiones el polen no queda bien adherido al pistilo de la flor o que las temperaturas en las cuales se realizaron dichos eventos no sean la sugeridas (Castillo 2005).

5.4 Caracterización fenotípica de los materiales

La caracterización fenotípica de los materiales evaluados se hizo usando diferentes parámetros de fruto y semilla, para los que se encontró una gran variación. Casi la mitad de los genotipos mostró frutos verdes, lo que permite clasificarlos en dos grupos. Aunque predominó la forma amelonada de mazorca, también se observaron otras formas. Hubo una

fuerte variación en la forma del ápice y en la rugosidad del mesocarpo, variables que junto con las anteriores permitieron distinguir fenotípicamente los materiales. El peso promedio de los frutos no presentó correlación con la producción, ya que este peso depende de la concha y el contenido de semillas que contenga el fruto como lo encontró Engles (1986), por lo que no debe considerarse como un buen parámetro de selección.

Se observó que el número promedio de semillas por fruto fue de 35 con un coeficiente de variación de 14,5 carácter que representa para autores como Toxopeus y Jacob (1970) un parámetro de rendimiento fundamental, pero que presenta gran variación de acuerdo a la forma y peso del fruto. En este estudio se pudo apreciar que el número inferior de semillas se presentó en la mayoría de los casos en árboles que tenían como progenitores al CC-137, CC-124, CCN-51 y el CATIE-1000, los cuales poseen semillas de tamaño grande, caso contrario a lo que se observa con los materiales que tienen como progenitores al EET-75, Scavina-6 y el UF-273, que poseen semillas muy pequeñas. Esto se soporta con estudios realizados por Loayza (1971), quien observó que las descendencias de los cruces en el que interviene el Scavina-6 como progenitor, muestran valores más bajos de longitud, ancho y grosor de la semilla, determinando así, que existe un efecto de heredabilidad (genes dominantes), que se conservan de una generación a otra.

En cuanto a caracteres como la longitud, diámetro y espesor de la semilla se obtuvieron correlaciones altamente significativas y positivas en relación con el peso promedio del fruto; y altamente significativa pero significativas entre índice de mazorca y el peso húmedo de la semilla. El color de los cotiledones vario entre café y púrpura. Aquí es importante resaltar que los cotiledones claros como los del Catongo estarían correlacionados con morfotipos finos de alta calidad (Uphof 1940). Luna *et al* (2002), señalan que los niveles de polifenoles se correlacionan directamente con los niveles de astringencia y amargor de las almendras de cacao, los cuales se encontraron en los demás materiales analizados.

6 CONCLUSIONES

- Se observó una amplia variabilidad en los componentes de rendimiento, características morfológicas de los frutos y semillas, reacción a *Phytophthora palmivora* y compatibilidad, evaluados en cada uno de los genotipos pre-seleccionados por el CATIE.
- Los datos recopilados en campo sobre incidencia natural a enfermedades son de gran valor, puesto que permiten la pre-selección de genotipos resistentes, sin embargo es necesario realizar las pruebas de inoculación artificial, debido a que permiten detectar con mayor precisión la reacción de los materiales.
- En cuanto a las variables cualitativas de los frutos, se aprecia que el 82,6% tienen forma de mazorca amelonada, el 55,4% son frutos de color verde, que presentan un ápice redondeado, sin constricción basal con una rugosidad suave al igual que la dureza del mesocarpo.
- Se evidenció que de los 90 genotipos evaluados tan solo un 4,4% presentó una producción alta 1706,4 a 2696 kg/ha/año, un 25,6% entre 1151,7 y 1706,4 kg/ha/año, mientras que un 47,8% evidenció una producción media que oscila entre 596,9 y 1151,7 kg/ha/año y un 22,2% de la población mostró una producción baja que oscila entre los 42, 2 y 596,9 kg/ha/año.
- El 51,1% de la población estudiada, presentó un índice de mazorca recomendado por los diferentes autores como un buen indicador de selección, mientras que para el índice de semilla 85,5% presentó un peso mayor a 1,0 g.
- El 54% de los materiales mostró una reacción a mazorca negra entre resistentes y moderadamente resistentes. Existe una tendencia general que identifica que la resistencia a la incidencia de *Phytophthora palmivora* es otro carácter que es heredable, debido a que materiales evaluados que presentan como alguno de sus progenitores al UF-273, SGU-84 y CCN-51 son más susceptibles, que materiales que presentan a

algunos de sus padres como el Pound-7, ARF-22 y SCA-6 que muestran resistencia a la enfermedad.

- El 67,7% de los genotipos evaluados fueron autocompatibles, mientras que el 32,2% fueron genotipos autoincompatibles.
- El tamaño, la forma y el color de las semillas, es un carácter heredable, donde se observó que los materiales que tienen como algunos de sus progenitores a los clones CC-124, CC-137, CCN-51 y CATIE 1000, presentan un menor número de semillas por fruto, mientras que materiales que tienen como progenitores al EET-75, UF-273 y SCA-6 incrementan la cantidad de semillas dentro del mismo por poseer tamaños más pequeños.
- Genotipos que en común tienen como progenitores a los clones CC-137, ICS-95, ARF-37 y UF-712, muestran características morfo-fisiológicas más relevantes que materiales que en común poseen padres como: EET-75, UF-273 y SCA-6.
- En el caso de *Moniliophthora roreri* los genotipos que muestran una menor incidencia a la enfermedad tienen como progenitores al UF-273, UF-712, EET-75 y PA-169, mientras que genotipos que tienen algunos de los siguientes progenitores son más susceptibles Pound-7 y CCN-51.
- Existe una tendencia general en el rendimiento, donde materiales que presentan en común padres como el ICS-95, ICS-6, CC-137 y CC-124 aumentan el rendimiento en kg/ha/año y caso contrario lo reportan genotipos que poseen al UF-273 y UF-712 como uno de los progenitores.
- El índice de rendimiento y el vigor deben considerarse e incluirse como parámetros de pre-selección de árboles superiores porque el vigor incrementa el rendimiento en kg/ha/año, debido al manejo en la densidad de siembra poda y niveles de competencia entre individuos.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar, completar y re-evaluar la información en cada uno de los parámetros evaluados, para cada uno de los materiales que por disponibilidad de muestra durante esta investigación no fueron estudiados o se contó con una muestra muy pequeña.
- Se deben multiplicar los árboles elites obtenidos, por medio de propagación vegetativa, con el fin de asegurar la conservación genética que muestran muchos de estos materiales, debido a que en la mayoría de los casos, tan solo existe en el campo un individuo que puede llegar a desaparecer por diversas condiciones.
- Realizar estudios de segregación en cuanto a las características de rendimiento, resistencia a enfermedades y compatibilidad, que permitan aumentar la base genética de los materiales que presenta el Programa de Mejoramiento Genético de CATIE.
- Evaluar la reacción a *Moniliophthora roreri* mediante métodos de inoculación artificial, para corroborar la pre-selección de genotipos que se ha realizado por incidencia natural.
- Se sugiere dar seguimiento al comportamiento de germinación que presenta el clon UF-712, para llegar a establecer cuáles son los factores que intervienen en este fenómeno.
- Los resultados obtenidos a partir de esta investigación no pueden generalizarse a otros ambientes, ni a otras poblaciones, por lo cual se recomienda corroborar los mismos bajo condiciones ambientales diferentes.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Abadie, TA; Berretta SF. 2003. Caracterización y Evaluación de Recursos Fitogenéticos. (en línea). Montevideo, UY. Consultado 24 nov. 2004 Disponible en [http://www.Fagro.edu.uy/dptos/bioveg/fitotecnia/Documentos/Caracterización y evaluación-de-recursos-fitogenéticos.pdf](http://www.Fagro.edu.uy/dptos/bioveg/fitotecnia/Documentos/Caracterización_y_evaluación-de-recursos-fitogenéticos.pdf).
- Álvarez, M. 1996. La escoba de bruja en el cacao: un concurso como método para encontrar genotipos resistentes. *Café and Cacao: Noticias Nestle R and D Center*. Quito, Ecuador. 1(2):9-10.
- Alvim, P. 1967. Eco-physiology of the cocoa tree. *In Conference International Sur les echerches Agronomiques Cacaoyères 1965*. Abidjan. p. 23-35.
- _____. 1988. O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) em sistemas agrossilviculturais. *In 10th Cocoa Research Conference 1987*. Santo Domingo, RD. p. 3-14.
- Angulo, J; Ortiz de Berorrelli, L; Grazianí de Fariñas, L. 2001. Caracterización física de la semilla de los cacaos Criollo, Forastero, amazónico y Trinitario de la localidad de Cumboto. *Aragua. Venezuela. Agronomía Tropical* 51(2):203-219.
- Anon. 1832. El cacao. *El Cultivador Cundinamarqués o periódico de la Industria Agrícola y de la Economía Doméstica* 7. Bogotá, CO.
- Arevalo, E. 2005. *Monilia roleri* resistance testing methods. *In International Workshop on correlations with field resistance, problems faced and solutions tried, research results on alternative resistance testing methodods 2005*. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- Arguello, C. 1996. Manejo Integrado de Moniliasis en Cacao (*Theobroma cacao* L) en Santander. *Perspectiva Agropecuaria*. Bucaramanga, CO, Corpoica 97p (Boletín Divulgativo año 4).
- _____. 1997. Evaluación de Materiales de Cacao por Resistencia a *Moniliophthora roleri* en Santander (en línea).Santander, CO. Consultado 21 ago. 2004. Disponible en <http://www.corpoica.org.co/>
- Atanda, OA; Toxopeus, H. 1971. A proved case of heterosis in *Theobroma cacao* L. *Turrialba, Costa Rica*. 22 (1):81-89.
- _____. 1972. Correlation studies in *Theobroma cacao* L. *In 3rd International Cocoa Research Conference 1969*. Acrra, GH. *Proceedings Tafo, GH. Cocos Research Institute*. p. 545-551.
- _____. Toxopeus, H. 1972. Heterotic pod production of double over single crosses in *Theobroma cacao* L. *In 4th.International Cocoa Research Conference 1972*. St Agustine, TT. p. 82-89.

- Bartley, BGD. 1969. Twenty years of cacao breeding at the Imperial College of Tropical Agriculture, Trinidad. *In* 2^a Conference International de pesquisas do Cacau 1967. Bahía, BR. CEPLAC, Bahía, BR, 1969. Memorias:29-34.
- _____. 1971. Procedures for the selection of varieties for comercial planting. *In* 3^{ra} International Cocoa Research Conference 1969. Acrra, GH. Proceedings Tafo, GH. Cocoa Research Institute. p. 584-589.
- _____. Cope, FW. 1973. Practical aspects of self-incompatibility in *Theobroma cacao* L. Agricultural genetics; Selected topics. Ed. R. Moav. New York, US, Jhon Wiley. p. 109-134.
- _____. 2000. An Explanation of the Meaning of the Term and its Relationship to the Introductions from Ecuador in 1937. *Ingenic Newsletter* (5):10-15.
- Bekele, F; Butler, DR. 1998. Proposed short list of cocoa descriptors for characterization. *In* Working procedures for cocoa germplasm evaluation and selection. Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI Project Workshop 1998. Montpellier, FR . IPGRI, Italy, Rome. p.41-48.
- Benzoni, G. 1987. La Historia del Mundo Nuevo. (Venecia, 1565). Trad. M Vannini. Fuentes para la Historia Colonial de Venezuela, Caracas, 2^a Edición. Academia Nacional de la Historia, Venezuela.
- Blahá, G. 1974. Methods of testing for resistance. *In* Phytophthora disease of Cocoa. Ed. Gregory, PH. London, UK. Longman. p. 179-195.
- _____. Lotode, R. 1976. Un critère primordial de sélection du cacaoyer au Cameroun: la résistance à la pourriture brune des cabosses (*Phytophthora palmivora*). *Café, Cacao, Thé* 20(2):179-116.
- _____. Lotode, R. 1977. Contribution à la connaissance des modalités de la transmission héréditaire de la résistance du cacaoyer à la pourriture brune des cabosses (*Phytophthora palmivora*) au Cameroun. *Café, Cacao, Thé* 21(3):179-196.
- Braudeau, J. 1973. El cacao. Instituto Francés del Café y del Cacao (IFCC), Paris, FR. Trad. Editorial Blume.
- Buddenhagen, IW. 1977. Resistance and vulnerability of tropical crops in relation to their evolution and breeding. *Annals of New York Academy of Science* 287:309-326.
- Capriles de Reyes, L; Reyes, H. 1980. Enfermedades del cacao y su control. Maracay, VE, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 15 p. (Serie Técnica FONAIAP).
- Carletto, J. 1973. Expedición Internacional a la Amazonia Ecuatoriana, para colectar material botánico de cacao. *Theobroma* 3:41-47.

- Castillo, J. 2005. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) (entrevista) Turrialba, CR. Informe de Viaje a Brasil. Centro de Estudios de cacao Almirante. Comissao Executiva do Plano da la Voura Cacaueira (CEPLAC). 22 de Octubre al 5 de Noviembre 2004.
- CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza Tropical). 2003 Datos Meteorológicos (en línea). San José, CR. Consultado 24 nov. 2004 y 8 ene. 2005. Disponible en <http://www.catie.ac.cr>.
- _____. 2004. Recursos Fitogenéticos (en línea). San José, CR. Consultado 3 dic. 2004 y 22 ene. 2005. Disponible en <http://www.catie.ac.cr>.
- CCI (Centro de Comercio Internacional UNCTAD/GATT).1991. Resumen para los servicios de Información comercial. Cacao fino o de de aroma. Estudio de la producción y el comercio mundiales. Ginebra 1991. 60 p.
- Chee, KH.1974. Hosts of *Phytophthora palmivora*. In Gregory, PH. Phytophthora disease of cocoa. London, UK, Logman. p. 81-87.
- Cheesman, EE; Pound, FJ. 1932. Uniformity trials. Annual Report on Cacao Research. Imperial College of Tropical Agriculture 9(9):227-288.
- _____. Pound, FJ. 1934. Further notes on criteria of selection in cacao. Annual Report on Cacao Research. Imperial College of Tropical Agriculture 8:20-21.
- Clapperton, JF; Lockwood, G; Yow, STK; Lim DHK.. 1994. Effects of planting material on flavour. Cocoa Grover's Bulletin 48:43-67
- Compañía Nacional de Chocolates S.A. 1988. Manual para el Cultivo del Cacao. Colombia 140 p.
- Cope, FW. 1976. Cacao. *Theobroma cacao* L. (Sterculiaceae). Evolution of crop Plants. London, UK and New York, US Longman, Ed. NW Simmonds. p. 285-289.
- Coral, FJ; Soria, VJ. 1972. Diferentes graus de autocompatibilidade em *Theobroma cacao* L. In 4th.International Cocoa Research Conference 1972. St Augustine, TT. p. 77-81.
- Cuatrecasas, J. 1964. Cacao and its allies a taxonomic revision of genus *Theobroma*. Bulletin of the United States National Museum , Smithsonian Institution, Washington, US.
- Dakwa, JT. 1988. A serious outbreak of black pod in a marginal area of Ghana. In 10th Cocoa Research Conference 1987. Santo Domingo, RD. p. 447-508.
- De Witt, KW. 1954. The visual assesment of cured cacao. Tropical Agriculture 30(10/12):228-236.
- Dejean, M. 1984. Floración del cacao. Boletín informativo del Cacao, San José, CR 1(3):1-3.

- Delgado, JC; Suárez, C. 1993. Moniliasis del Cacao. FUNDAGRO-INIAP. (Documento técnico 10). 18 p.
- Díaz J. 1861. El Agricultor Venezolano o lecciones de Agricultura Práctica Nacional. Caracas, VE.
- Engels, JMM; Bartley, BG; Enriquez, GA. 1980. Cacao descriptors, their states and modus operandi. Turrialba 30(2):209–218.
- _____. 1981. Genetic resources of cacao: a catalogue of the CATIE collection. Turrialba, CR, CATIE Plant Genetic Resources Unit. 169 p. (Technical series. Technical bulletin/CATIE 7).
- _____. 1983. A systemic description of cacao clones 1. The discriminative value of quantitative characteristics. Euphytica 32:377-385.
- Enríquez, GA. 1966. Selección y estudio de las características de la flor, la hoja y la mazorca, útiles para la identificación y descripción de cultivares de cacao. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, IICA. 97 p.
- _____. Cabanilla, H. 1969. Estudios de compatibilidad en cacao híbrido *Theobroma cacao* L. en una hacienda de Ecuador. In 3^{ra} International Cocoa Research Conference 1969. Acra, GH. Proceedings Tafo, GH. Cocoa Research Institute. p. 560-564.
- _____. Alarcón, ME. 1977. The nature of self-incompatibility. A literature review. Turrialba, CR, CATIE. 27 p.
- _____. Suárez, C. 1978. Monilia disease of cacao in Costa Rica. Turrialba 28(5):339-340.
- _____. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, CR. CATIE (Serie Materiales de Enseñanza 22).
- _____. Salazar, C. 1987. Manual del Cacao para agricultores. 1^{ra} Edición San José CR. EUNED. Coedición: CATIE-ACRI-UNED. 150 p.
- _____. 1992. Characteristics of cacao “Nacional” of Ecuador. In International workshop on conservation, characterization and utilization of cocoa genetic resources in the 21st century. , the cocoa research Unit, the University of the West Indies. Port-of-Spain, Trinidad, TT p. 269-278.
- _____. 1997. Descripción y evaluación de los recursos genéticos. In técnicas para el manejo y uso de recursos genéticos vegetales. Castillo, R.; Tapia, C. Ed Porvenir. Quito, EC. p. 16-160.
- _____. 2004. Cacao Orgánico: Guía para productores ecuatorianos. Quito, EC. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (Manual 54). 360 p.

- Esquivel, O; Soria, VJ. 1967. Algunos datos sobre la variabilidad de algunos componentes del rendimiento en poblaciones de híbridos interclonales de cacao. *Cacao*. Costa Rica 12(4):1-8.
- Evans, HC. 1981. Pod rot of cocoa caused by *Moniliophthora (Monilia) roreri*. Kew, Surrey, England. CMI. 44 p. (Phytopathological Paper 24).
- _____. Krauss, U; Ríos, RR; Acosta, ZT; Arévalo, GE. 1998. Cocoa in Perú. *Cocoa Growers' Bulletin*. Junio de 1998. Boletín 51:7-21.
- _____. Holmes, KA; Phillips, W; Wilkinson, MJ. 2002. What's in a name *Crinipellis*, the final resting place for the frosty pod rot pathogen of cocoa?. *Mycologist (United Kingdom)* 16(4):148-152.
- Ewel, J; Madriz, A; Tossi, J. 1976. Zonas de vida de Venezuela. MAC-FONAIAP. Ed Sucre, Caracas, VE. 97p.
- Falconer, DS. 1976. Introducción a la genética cuantitativa. Trad. del Inglés por F Márquez Sánchez. CECOSA, México D.F. 430 p.
- Firman, ID; Vernon, AJ. 1970. Cocoa canker caused by *Phytophthora palmivora*. *Annals of Applied Biology (GB.)* 65(1):65-73.
- FONCACAO (Fondo Nacional Del Cacao). 1994 Situación actual y perspectivas del sector cacaotero nacional. 29 p. Mimeografiado.
- _____. 1977. Situación actual y perspectivas del sector cacaotero nacional. El Cacao en Venezuela, Caracas.
- French, ER; Hebert, TT. 1982. Método de investigación fitopatológica. San José, CR. IICA: 43. p. 168-186. (Serie de Libros y Materiales Educativos).
- Fritz, PJ; Phillips, W; Rodriguez, H. 1995. New tools for 21st century plant breeding. DNA markets: theory and applications. 122 p. (Technical Series. Technical Bulletin. CATIE no 251).
- FUNDACITE (Fundación para la ciencia y la Tecnología). 1998. Plan para el manejo del cacao. FUNDACITE-ARAGUA. Maracay, Estado Aragua, VE. 9 p.

- Ghosh, BN. 1976. The shape and size of Cocoa beans. Turrialba, Costa Rica 26(2):134-138.
- Gregory, PH. 1972. Cocoa: The importance of black pod disease. Journal of the Agricultural Society of Trinidad y Tobago (Trinidad) 72(2):155-160.
- _____. 1974. Phytophthora Disease of Cocoa. London, UK, Longman. 348 p.
- _____. Maddison, AC. 1981. Epidemiology of *Phytophthora palmivora* on cocoa in Nigeria; final report of the International Cocoa Black pod Research Project. Kew, England, Commonwealth Mycological Institute. Phytopathological Society. p. 9-40.
- Gutierrez, CH. 1985. Actualidad y perspectivas del cacao en Colombia. Chocolatería LUKER. (Publicación 1). p. 1-10.
- Hardy, F. 1960. Manual del Cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Turrialba, CR. 362 p.
- _____. 1961. Manual del Cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Turrialba, CR. 437 p.
- ICCO. (Organización Internacional del Cacao). 1991. Resumen Estadístico. (Boletín del Cacao GB 21).
- _____. 1999. Programa de Cacao Sostenible. Londres, UK (boletín de cacao de la ICCO. SIN 1353-4572).
- _____. 2001. Producción mundial de cacao. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. 2 p. Proyecto MAG/SICA (en línea). Guayaquil, EC. Consultado 26 jun. 2004. Disponible en <http://www.sica.gov.ec>.
- _____. 2005. Producción Mundial del cacao. Proyecto MAG/SICA (en línea). Guayaquil, EC. Consultado 29 ene. 2005. Disponible en <http://www.sica.gov.ec>.
- IPGRI. (International Plant Genetic Resources Institute). 2000. Working procedures for cocoa germoplasm evaluation and selection. Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI project Workshop 1998 Montpellier, FR. Ed. Eskes, AB; Engels, JMM; Lass, RA .176 p.

- Jacob, VJ; Toxopeus, H. 1971. The effect of pollinator parent on the pod value of hand pollinated pods of *Theobroma cacao* L. In 3^{ra} International Cocoa Research Conference 1969. Acrra, GH. Proceedings Tafo, GH. Cocoa Research Institute. p. 556-559.
- _____. Atanda, OA. 1975. Compatibility and fruit setting in *Theobroma cacao* L. Annual Report on Cocoa Research. Imperial College of Theobroma 5(2):12-18.
- Jorgensen, H. 1970. Monilia pod rot in Ecuador. *Cacao*. Costa Rica 15:4-13.
- Knight, R; Rogers, HH. 1955. Incompatibility in *Theobroma cacao* L. *Heredity* (GB.) 9:69-77.
- Keane, PJ. 1981. Epidemiology of vascular-streak die-back of cocoa. *Annual Application Biology* no 98:227-241.
- _____. Prior. 1992. Biology of vascular-streak die-back of cocoa. Cocoa pest and disease management in Southeast Asia and Australia. *FAO Plant Production and Protection* p. 75-83 (Paper 112).
- Krauss, U; Soberanis, W. 2001. Biocontrol of Cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. *Biological Control* 22:149-158.
- Kuppers, JR. 1953. Some biometrics observations on cacao fruit. *Science* 117(3040):354-355.
- Lainez, JR. 1991. Estudio de la descendencia del cruce interclonal de cacao "Catongo x Pound-12" bajo las condiciones de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 125 p.
- Lanaud, C. 1987. Nouvelles donnees sur la biologie du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.), diversité des populations, systemes d'imcompatibilite, haploides spontanés. Leurs consequences pour l'amélioration génétique de cette espèce. Doctoral d'état, Paris, FR, IX cap.
- Lawrence, JS. 1978. Evaluation of methods for assessing resistance of cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivars and hybrids to *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler. Itabuna, Bahía, Brasil. Centro de pesquisas de Cacau. 46 p. (Boletín Técnico no 62).
- Leal, F. 1993. Historia y origen del cacao. In: Foro "500 años de la América Tropical". Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas, VE.

- Leal, F; Sánchez, P; Valderrama, E. 1998. *Theobroma* silvestre en el estado Amazonas de Venezuela. Plant Genetic Resources Newsletter 116:36–38.
- Loayza, RA. 1971. Comparación de vigor de plántulas de varios cruces en cacao (*Theobroma cacao*). Tesis Ing. Agr. Guayaquil, EC. Universidad de Guayaquil. Facultad de Agronomía y Veterinaria. 55p.
- Lockwood, G. 1976. Diallel cross. In Cocoa Research Institute of Ghana, Annual Report 19/5-1976. Tafo, GH. 1978. p. 87-94.
- López, G; Enríquez, GA. 1980. Presencia de *Monilia roleri* Cif et Par. El cacao, *Theobroma cacao* L. en la frontera de Costa Rica- Nicaragua. Managua , Nicaragua: Ministerio de Desarrollo Agropecuario, laboratorio de Fitopatología. 150 p.
- López, BO. 1982. Revisión de Literatura sobre la incompatibilidad en Cacao. Turrialba, CR. CATIE.p. 14.
- López ,P; Delgado, V; Aspeitia, A; López, J. 1996. Manual para la Producción del Cultivo del Cacao en Tabasco: Rehabilitación y Renovación. Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. “Campo Experimental Huimanguillo”. p. 17-21. (Folleto Técnico).
- Luna, F; Crouzillat, D; Cirou, L; Bucheli, P. 2002. Chemical composition and flavor of Ecuadorian cocoa liquor. Journal of Agriculture and Food Chemistry 50(12):3527–32.
- Mackenzie, DR; Elliot, VJ; Kidney, BA; King, ED; Royer, MH; Theberge, RL. 1983. Application of modern approaches to the study of the epidemiology of diseases caused by *Phytophthora*. In *Phytophthora: its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. Ed. By D.C. Erwin, S. Bartnicki-García, P.T. Tsao. St. Paul, MN. APS. p. 303-314.
- Maddison, AC; Griffin, MJ. 1981. Detection and movement of inoculum. In *Epidemiology of Phytophthora on Cocoa in Nigeria*. Ed. By PH. Gregory, AC. Madison. England, CMI, Kew.
- Martin, EJ. 1982. Efectos de polinización controlada en cacao. In 8th International Cocoa Research Conference 1981. Cartagena, CO. Proceedings. Lagos, NG. p. 57-60.
- Manco, L. 1966. Importancia dos micronutrientes no cultivo do cacau. Cacao Actualidades Brasil 11(7):7-10.
- Medeiros, AG; Rocha, HM. 1965. Estudo da resistencia do cacao Catongo à prodição parda. Relatório Anual CEPLAC, Centro de pesquisas do cacau, Itabuna, BR. 29 p.
- Mora Urpi, J. 1958. Notas sobre el posible origen y la variabilidad del cacao cultivado en América Tropical. Turrialba 8(1):34–43.
- Motamayor, JC. 2001. Etude de la diversité génétique et de la domestication des cacaoyers du groupe criollo (*Theobroma cacao* L.) à l'aide de marqueurs moléculaires. Le grade de Docteur en Sciences. Université Paris XI. 177 p.

- Motamayor, JC; Risterucci, AM; Lopez, PA; Ortiz, CF; Moreno, A; Lanaud, C. 2002. Cacao domestication In: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89:380–386.
- Muñoz, A; Maisincho, J; Páez, T; Oleas, A.; Yánes, V. 2003 Evaluación de la tolerancia de bacterias antagonistas de *Moniliophthora roreri* a plaguicidas y productos afines utilizados en el cacao. Proyecto: Estrategias biológicas para el control de la moniliasis del cacao. Reporte Técnico-Científico. Convenio ESPE-PROMSA IQ-CV-025. Quito, EC. p. 36-42.
- Ollenu, LA.; Owusa, GK; Thresh, JM. 1989. The control of cocoa swollen shoot disease in Ghana. *Cocoa Growers' Bulletin* 42: 25-35.
- Orellana, RG. 1954. Estudios sobre la podredumbre de los frutos de cacao causados por *Phytophthora palmivora* en Costa Rica. *Turrialba* 4(1):35-38.
- _____. 1956. La moniliasis y otras enfermedades del cacao en el este de Panamá. *Boletín Fitosanitario de la FAO* 4: 168-169.
- Ostendorf, FW. 1965. Identifying characters for cacao clones crop. In: Reuniao do Comite Técnico Interamericano do Cacau, VI Salvador, Bahía, BR. p. 89-110.
- Partiot, M. 1975. La résistance horizontale du cacaoyer au *Phytophthora* sp. Méthodes d'évaluation precoce. *Café, Cacao, Thé* 19:123-136.
- Pereira, JL. 1992. Cocoa and its pathogens in the region of origin: a continued risk. Cocoa pest and disease management in Southeast Asia and Australasia. (FAO Plant Production and Protection Paper no 112: 13-30).
- Pérez, A. 1937. Manual del cacaotero venezola MAC. Cooperativa de Artes Gráficas, Caracas, VE.
- Phillips-Mora, W; Galindo, JJ. 1986. Reaction of cocoa cultivars to inoculation with *Monilia roreri*. *Phytopathology* 76:375.
- _____. Enríquez, GA. 1988. Catalogo de cultivares de cacao. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales. Oficina Nacional de Semillas. 1988 (Serie Técnica, Boletín Técnico 18-60 p).
- _____. Galindo, JJ. 1989. Métodos de Inoculación y Evaluación de la Resistencia a *Phytophthora palmivora* en Frutos de Cacao (*Theobroma cacao*). *Turrialba* 39 (4):488-496.
- _____. H, Rodríguez; P, Fritz. 1995. Marcadores de ADN: teoría, aplicaciones y protocolos de trabajo, con ejemplos de investigaciones en cacao(*Theobroma cacao*). Turrialba, CR, CATIE (Serie técnica. Informe técnico 252). 183 p.
- _____. Galindo, JJ. 1996. Studies on resistance to black pod disease (*Phytophthora palmivora*) at CATIE. In Proceedings Ingeni Workshop on the contribution of disease resistance to cocoa variety improvement, Salvador, Bahia, BR. p. 25-26.

- Phillips-Mora, W. 1998. Biología molecular y marcadores moleculares en la agricultura. Memoria II Congreso Nacional de Estudiantes del sector Agropecuario Costarricense. IICA-EARTH-CATIE. p. 77-87.
- _____. 2003. Origen, Biogeography, Genetic Diversity and Taxonomic Affinities of the Cacao (*Theobroma cacao*) Fungus *Moniliophthora roreri* (Cif) Evans *et al.* as Determined using Molecular, Phytopathological and Morpho-physiological Evidence. Tesis PhD. UK, University of Reading. UK. 349 p.
- _____. 2005. *Monilia roreri* resistance testing methods. In International Workshop on correlations with field resistance, problems faced and solutions tried, research results on alternative resistance testing methods 2005. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- Porras, VH; Galindo, JJ; Cruz, C. 1986. Effect of sanitation, fungicide application and pollination on moniliasis and black pod incidence. *Phytopathology* 76: 1116.
- _____. Cruz, CA; Galindo, JJ. 1990. Manejo Integrado de la Mazorca Negra y la Moniliasis del Cacao en el Trópico Húmedo Bajo de Costa Rica. *Turrialba* 40(2):238-245.
- Posnette, AF; Entwistle, HM. 1958. The pollination of cocoa flowers. In Report Cocoa Conference 1957. London, UK: p. 66-8.
- Pound, FJ. 1932. The genetic constitution of cacao crops 1. Pp 9-26 In Annual Report of Cacao Research 1931-1945. Imperial College of Tropical. Agriculture, Trinidad, TT.
- Powell, BN. 1982. Calidad de las almendras de cacao, necesidades del fabricante. *Cacaotero Colombiano* 20:24-31.
- Ramos, PA. 1946. Tratado de límites de 1750 y la expedición de Iturriaga al Orinoco. Consejo Superior de Investigación Científica, Universidad de Valladolid. Madrid, ES.
- Reuck, D. 1997. Monilia del Cacao. ¿Una amenaza semejante a la escoba de bruja? *Café and Cacao: Noticias*. Nestlé R and D. Center Quito, Ecuador. 2 (1):1-2.
- Reyes, GF. 1970. Informe sobre algunos aspectos de algunos cultivos de cacao. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café Chinchiná, Caldas, CO.
- Rodríguez, RG. 1983. Herencia de la reacción del cacao (*Theobroma cacao*) a la pudrición de la mazorca causada por *Phytophthora palmivora* (BUTL.) BUTL. Tesis de Mag. Sci., Turrialba, CR. UCR-CATIE. 79 p.
- Ruinard, J. 1961. Variability of various characters as a factor in cacao selection. *Ephytica* 10 (2):134-146.
- Sánchez, PA; Jaffé, K. 1989. El género *Theobroma* en el Territorio Federal Amazonas Venezuela, II. Distribución Geográfica, *Turrialba* 39(4):446-454.

- Sánchez, PA; Dubón, A. 1994. Establecimiento y Manejo de cacao con Sombra. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, CR. (Serie Técnica. Manual Técnico no 10. 82 p.)
- _____. Tortolero, J; Girón, C; Parra, D; Izquierdo, A; Solórzano, E. 1996. Caracterización y establecimiento de un banco de germoplasma de cacao criollo en el litoral aragueño. Informe final. FONAIAP-Estación Experimental Miranda. Caucagua, Edo. Miranda, VE.
- Sreenivasan, TN; Persad, C. 1982. Two additional methods for inoculation of seeds of cocoa for evaluating resistance against *Phytophthora palmivora* (Butl.). In 8TH International Cocoa Research Conference 1981. Cartagena, CO. Proceedings. Lagos, NG. p. 439-443.
- Somarriba, E; Beer, J; Bonneman, A. 1996. Árboles leguminosos y maderables como sombra para cacao: el concepto. CATIE. (Serie Técnica. Informe Técnico 274: 30-41).
- Soria, VJ. 1966. Obtención de clones de cacao por el método de índices de selección. Turrialba 16(2):119-124.
- _____. 1967. Notas sobre las principales variedades de cacao cultivadas en América. Conférence Internationale sur les recherches agronomiques cacaoyeres, Abidjan, 15-20 noviembre. 1965. Paris, FR .p. 247-253.
- _____. 1973. Primitive cultivars of cocoa. In Frankel , OH , editor. Survey of crop genetic resources in their centers of diversity. FAO/IBPGR, Rome, IT. p. 119–125.
- _____. Ocampo, F; Páez, G. 1974. Parental influence of several cacao clones on the yield performance of their progenies. Turrialba 24(1):58-65.
- _____. 1975. The genetics and breeding of cacao. In 5th International Cocoa Research Conference, 1975. Ibadan. NG. p. 18-24.
- _____. 1978. The breeding of cacao (*Theobroma cacao* L.). Tropical Agriculture Research Center. Ministry of Agriculture and Forestry, Japan, 1978. (Tropical Agriculture Research Series no 11:161-168).
- Sounigo, O; N'Goran, J; Coulibaly, N; Clement, D; Lachenaud, P. 1994. Evaluation de clones de cacaoyers pour la productivité, la résistance aux mirides et la résistance à la pourriture brune des cabosses. In 11th International Cocoa Research Conference, Cocoa Producers Alliance 1993. Lagos, NG. p. 375-381.
- Stockdale, FA. 1928. An examination of the type-forms of fruit present in the progeny of single Forastero cacao. Tropical Agriculturist 71(6):328-342.
- Suárez, C. 1987. Enfermedades del Cacao y su Control. En manual del Cultivo del Cacao. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quevedo, EC. p. 86-87.

- Sukha, DA; Bharath, SM; Straker, SS; Butler, DR. 2002. A holistic approach to cocoa (*Theobroma cacao* L.) quality assessment. *In Annual Report of Cocoa Research Unit 2002*. The University of the West Indies, St Augustine, TT. p. 60-69.
- Surujdeo-Maharaj, S; Umaharan, P; Butler, DR. 2004. Assesment of resistance to Witches' broom disease in clonal and segregating populations of *Theobroma cacao*. *Plant Disease* 88:797-803.
- Tarjot, M. 1974. Physiology of the fungus. *In Phytophthora disease of cocoa*. Ed. by Gregory, P.H. London, UK, Longman. p. 103-116.
- Tecnología para el Mejoramiento de Sistemas de Producción de Cacao. 2000. Compiladores Luis Antonio Mejía Florez; Orlando Argüello Castellanos. Publicación CORPOICA-Ministerio de Agricultura. Ed. Impresiones Colombianos. Bucaramanga, CO. 2000. p. 144.
- Thresh, JM, Owusu, GLK; Ollenu, LAA. 1988 Cocoa swollen shoot: an archetypal crown disease. *Journal of Plant Disease and Protection* 95(4):428-446.
- Ticha, I; Hodanova, D; Pospisilova, J; Kase, M; Sestak, Z. 1985. Gas exchange and dry matter accumulation during leaf development: Photosynthesis during leaf development (Z. Sestak ed.) p. 156-216.
- Toxopeus, H; Jacob, VJ. 1970. Studies on the number of beans per pod. *In Annual Report 1968-1969*. Cocoa Research Institute of Nigeria, Ibadan, NG. p. 105.
- Uphof, JC. 1940. Una importante correlación en la selección de cacao. *Hacienda* 35(11):419.
- Valls, BJ. 1989. Caracterizacáo morfológica, reproductiva e bioquímica de germoplasma vegetal. *In Curso de Tecnología de Sementes para Bancos de Germoplasma*. CENARGEN, Brasilia, BR. 23p.
- Vera, BJ. 1969. Estudio de la compatibilidad en híbridos interclonales de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis Ing. Agro. Guayaquil, EC. Universidad de Guayaquil. 41 p.
- _____. Cabanilla, H. 1987. Manual del cultivo de cacao: Rehabilitación del cacao. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Programa Nacional de Cacao. Quevedo, EC. p. 98- 101.
- Vidal, L.; Clemente, G. 1996. Manjeo del cacao. Aragua el cacao y su gente (en línea). Aragua, VE. Consultado 23 nov. 2004. Disponible en <http://www.cacao.fundacite.org.gov.ve/manejo/html>.
- Vincent, JC. Caracteristiques physiques et chimiques des feves de cacao des clones et hybrids selectionnes an Cameroun-premiers resultats. *In 3^{ra} International Cocoa Research Conference 1969*. Acrra, GH. Proceedings Tafo, GH. Cocoa Research Institute. p. 600-607.

- Voelcker, OJ. 1938. Self-incompatibility in cacao. 2. In Annual Report on cacao Research-Imperial College of Tropical Agriculture no 7:2-5.
- Waterhouse, GM.1977. Whence *Phytophthora palmivora*? Phytophthora Newsletter 5:3-5.
- Wessel, M; Gerritsma, W. 1994. Re-thinking the shade policy for cocoa growing in West Africa. In 7th International Cocoa Research Conference 1979. Camerún, CM. p. 103-108.
- Wharton, AL. 1959. Black pod disease. In West African Cocoa Research Institute. Annual Report 1957/58:25-30.
- Wood, G; AR, BA; DTA. 1959. El cacao en Ecuador. In Notes on Three cocoa Diseases, Cocoa-Growing in Venezuela, Colombia and Ecuador. Cadbury Brothers LTD. Bournville. 35-52 p.
- _____. AR, BA; DTA. 1985. From harvest to store, Cocoa, 4th ed. New York, USA, Longman, 444-504 p.
- Zentmyer, GA. 1987. Meeting of American Regional Group on *Phytophthora palmivora* on Cacao (1980, Turrialba, Costa Rica). Ed. Por G.A. Enríquez y G.A. Zentmyer. (Reporte Técnico 126:1-2). CATIE. CR.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de correlación entre las 23 variables relacionadas con el rendimiento de genotipos de cacao evaluados en La Finca Experimental La Lola. Turrialba CATIE (2004).

	Total frutos en 5 años	Total frutos sanos	Frutos con Monilia	Producción kg/ha/años	Diámetro planta al quinto año	Altura de la planta	Número ramas	Peso promedio fruto	Longitud promedio fruto	Diámetro promedio fruto	Grosor caballete	Profundidad surco	Relación Largo/Ancho	Número semillas x fruto	Peso promedio Húmedo semillas
Total frutos en 5 años	1	0,91 **	0,81**	0,85**	~0,44**	0,17n.s	0,39**	0,23*	~0,04n.s	0,02n.s	~0,04n.s	~0,12n.s	~0,06n.s	~0,23n.s	0,65n.s
Total frutos sanos		1	0,52**	0,95**	~0,43**	0,11n.s	0,4**	0,2*	~0,03n.s	0,04n.s	~0,07n.s	~0,11n.s	~0,06n.s	~0,28n.s	0,45n.s
Frutos con Monilia			1	0,49**	~0,33**	0,2n.s	0,29**	~0,2n.s	~0,07n.s	~0,03n.s	0,00077n.	~0,12n.s	~0,05n.s	~0,09n.s	0,05n.s
Producción kg/ha/5años				1	~0,37**	0,08n.s	0,27*	~0,07n.s	0,08n.s	0,1n.s	~0,06n.s	~0,11n.s	~0,02n.s	~0,14n.s	0,08n.s
Diámetro planta al quinto año					1	0,05n.s	0,47*	0,23*	0,13n.s	~0,01n.s	0,00013n.	0,11n.s	0,09n.s	0,17n.s	0,01n.s
Altura de la planta						1	0,18n.s	~0,11n.s	~0,14n.s	0,11n.s	~0,11n.s	~0,11n.s	~0,12n.s	~0,12n.s	0,24n.s
Número ramas							1	~0,12n.s	~0,04n.s	0,1n.s	~0,08n.s	~0,1n.s	0,09n.s	~0,16n.s	0,1n.s
Peso promedio fruto								1	0,63**	0,49**	0,52**	0,44**	0,32**	0,43**	~0,07n.s
Longitud promedio fruto									1	0,2*	0,13n.s	0,01n.s	0,84**	0,37**	0,6**
Diámetro promedio fruto										1	0,46**	0,42**	~0,11n.s	0,24*	0,5**
Grosor caballete											1	0,79**	~0,14	0,27**	0,32n.s
Profundidad surco												1	~0,21*	0,27**	0,15n.s
Relación Largo/Ancho													1	0,14n.s	0,02**
Número semillas x fruto														1	0,28**
Peso promedio Húmedo semillas															1
Peso promedio seco semillas															
Número semillas vanas															
Longitud semilla															
Diámetro semilla															
Espesor semilla															
índice rendimiento															
índice mazorca															
índice semilla															

1/** = Altamente significativo (p<0,01), *=significante (p<0,05) y n.s.= no significativo (p>0,05).