

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

HERENCIA DE LA CAPACIDAD DE FERMENTACION, PESO MEDIO DE
ALMENDRA, CONTENIDO DE TESTA Y PORCENTAJE DE GRASA EN EL
CACAO (Theobroma cacao L.)

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa
Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para
optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

por

JORGE PARDO TASIES

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Programa de Cultivos Anuales

Turrialba, Costa Rica

1988

DEDICATORIA

A mi amada esposa:

Lucrecia

y a mis hijos:

Esteban, Andrés y Daniela

A mis padres políticos:

Isaías y Dora

AGRADECIMIENTOS

El autor desea dejar constancia de su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

Al Dr. Gustavo Adolfo Enríquez Calderón, Consejero Principal, quien con su sabiduría, orientación y estímulo hizo posible la realización del presente trabajo.

A los integrantes del Comité Drs: José Galindo, Pedro Ferreira, Carlos Ramírez, y al M Sc. Roberto Díaz Romeu, cuyas valiosas contribuciones y sugerencias fueron determinantes en el análisis de la información obtenida.

Al Director de Posgrado Dr. Ronald Vargas Vargas por su apoyo y acertada dirección a lo largo de la maestría.

A los señores Eddie Salazar, Miguel Cerdas e Ing. Alfredo Paredes por la colaboración y atenciones prestadas en el trabajo de campo y laboratorio.

Al personal del Programa de Cacao de Turrialba, por su colaboración y desinteresada amistad.

A Carlos Vargas Sevilla, por su abnegado esfuerzo en el excelente procesamiento, impresión y corrección del texto.

Al Gobierno de Inglaterra por la beca de estudios otorgada.

Al American Cocoa Research Institute, y a la Hershey Food Co. por el apoyo de todo tipo brindado a la presente investigación.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y a la Universidad de Costa Rica por concederme la oportunidad de efectuar estudios de posgrado.

BIOGRAFIA

Jorge Pardo Tasies, costarricense; nació en la provincia de Limón en 1953. Realizó sus estudios primarios y secundarios en la ciudad de San José.

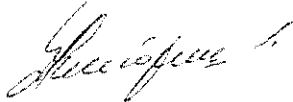
Egresó de la carrera de Fitotecnia de la Universidad de Costa Rica en 1980. En 1984 ingresó en el Programa de Posgrado UCR/CATIE.

Como profesional se ha desempeñado en la actividad privada y como profesor de Cultivos Mayores, Básicos y Hortícolas en la Universidad Estatal a Distancia desde 1981. Ha publicado los libros de texto: "El cultivo del Banano" y "Agroclimatología Tropical" como coautor, así como varios artículos científicos. Su dirección actual es Consejo Nacional de la Producción, Dirección de Planificación, San José, Costa Rica.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar al grado de

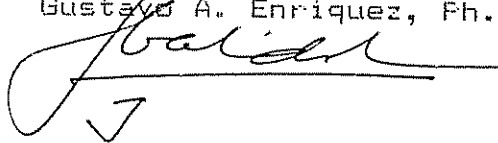
Magister Scientiae

JURADO:



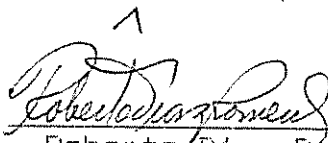
Gustavo A. Enriquez, Ph.D.

Profesor Consejero



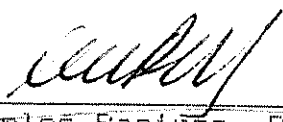
José Galindo, Ph.D.

Miembro del Comité



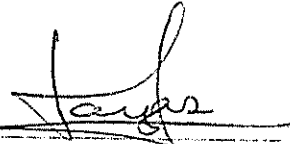
Roberto Díaz B., Ph.D.

Miembro del Comité



Carlos Ramírez, Ph.D.

Miembro del Comité

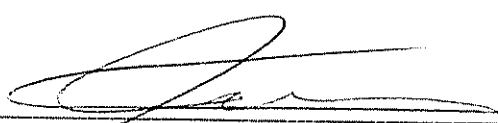


Ronald Vargas V., Ph.D.

Director del Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales.



Decano, Sistema de Estudios de Posgrado
Universidad de Costa Rica



Jorge Fardo Tasies

Candidato

CONTENIDO

	PAGINA
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xvi
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Composición de la almendra fresca.....	4
2.2. El proceso de fermentación.....	5
2.2.1. Fermentación e hidrólisis.....	5
2.2.2. Oxidación.....	8
2.3. La temperatura de fermentación.....	10
2.4. La acidez del cacao.....	12
2.5. Factores que modifican el grado de fermentación	15
2.5.1. Factor manejo.....	15
2.5.1.1. Grado de madurez de la mazorca.	15
2.5.1.2. Sanidad de las mazorcas.....	16
2.5.1.3. Intervalo entre cosecha y	
quiebra de mazorcas.....	17
2.5.1.4. Métodos de fermentación.....	17
2.5.1.5. Duración de la fermentación....	18
2.5.1.6. Volteos.....	19
2.5.2. Factor ambiental.....	19
2.5.3. Factor genético.....	21
2.6. Peso medio de almendra.....	24
2.7. Porcentaje de testa.....	31
2.8. Porcentaje de grasa.....	33
3. MATERIALES Y METODOS.....	40
3.1. Localización de los experimentos.....	40
3.2. Material experimental.....	40
3.2.1. Experimento 14.....	40
3.2.2. Experimento 12.....	41

3.2.3.	Material clonal.....	44
3.3.	Variables.....	44
3.4.	Metodología.....	46
3.4.1.	Manejo en el campo.....	46
3.4.2.	Fermentación.....	47
3.4.2.1.	Temperatura.....	50
3.4.2.2.	Acidez.....	50
3.4.3.	Secado.....	51
3.4.4.	Porcentaje de almendras fermentadas.....	51
3.4.4.1.	Prueba de la Lija.....	51
3.4.4.2.	Prueba de Corte.....	52
3.4.5.	Peso promedio de almendra y porcentaje de testa.....	52
3.4.6.	Porcentaje de grasa.....	54
3.4.7.	Análisis estadístico de la información..	54
3.4.7.1.	Experimento 14.....	54
3.4.7.2.	Experimento 12.....	60
3.4.7.3.	Material clonal.....	60
4.	RESULTADOS.....	61
4.1.	Temperatura.....	61
4.2.	Acidez.....	64
4.3.	Porcentaje de almendras fermentadas.....	69
4.3.1.	Prueba de la Lija.....	69
4.3.2.	Prueba de Corte.....	75
4.4.	Peso medio de almendra.....	82
4.5.	Porcentaje de testa.....	87
4.6.	Porcentaje de grasa.....	95
5.	DISCUSION.....	101
5.1.	Temperatura de fermentación.....	101
5.2.	Acidez.....	104
5.3.	Porcentaje de almendras fermentadas.....	107
5.3.1.	Prueba de la Lija (PL).....	108
5.3.2.	Prueba de Corte (PC).....	113
5.4.	Peso medio de almendra.....	117
5.5.	Porcentaje de testa.....	121

5.6. Porcentaje de grasa.....	125
6. CONCLUSIONES.....	128
7. RECOMENDACIONES.....	131
8. LITERATURA CITADA.....	133
9. APENDICE.....	160

LISTA DE CUADROS

En el texto		Página
Cuadro Nº		
1	Número de árboles seleccionados con base en el vigor y en la presencia de floración de los cruces dialélicos entre los cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.): 'SCA-6', 'UF-613', 'UF-29' y 'CATONGO'. Experimento 14, CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	42
2	Número de árboles de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.) seleccionados por tratamiento con base en el vigor y en la presencia de floración de los cruces seleccionados. Experimento 12, Turrialba, Costa Rica.....	43
3	Clones de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.) seleccionados con base en la presencia de floración (6 árboles de cada uno). CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	45
4	Análisis de varianza y cuadrados medios esperados para el diseño dialélico 3 de Griffing. (Modelo de efectos fijos).....	58
5	Variabilidad en el pH de almendras fermentadas por 120 horas (pHS) de árboles híbridos obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.).....	66
6	Variabilidad en el pH de almendras secas (pHS) de árboles híbridos obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.).....	68
7	Promedios de pH después de 120 horas de fermentación (pHF) y luego del secado (pHS) según la gaveta y serie de fermentación de almendras de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.).....	70
8	Variabilidad en el porcentaje de almendras fermentadas de árboles híbridos obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.). Prueba de la Lija (PL).....	72

9	Porcentajes promedio de almendras fermentadas de cacao obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>) Prueba de la Lija (PL).....	73
10	Porcentajes promedio de almendras fermentadas obtenidos por Prueba de Lija (PL) en cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). CATIE, Turrialba.....	76
11	Variabilidad en el porcentaje de almendras fermentadas de árboles híbridos obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). Prueba de Corte (PC).....	77
12	Porcentajes promedio de almendras fermentadas obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>) Prueba de Corte (PC).....	79
13	Porcentajes promedio de almendras fermentadas obtenidos por prueba de corte (PC) en cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). CATIE, Turrialba.	81
14	Variabilidad en el peso medio en granos (W) de almendras secas de árboles híbridos obtenidos por cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	83
15	Pesos promedio de almendra seca en gramos (W) obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	85
16	Pesos promedio en gramos de almendras fermentadas (W) obtenidos en cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). CATIE. Turrialba.....	88
17	Variabilidad en el porcentaje de testa de almendras fermentadas (T) de árboles híbridos obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	89
18	Porcentajes promedio de testa en almendras fermentadas (T), obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	91
19	Porcentajes promedio de testa en almendras fermentadas (T) obtenidos en cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). CATIE, Turrialba...	94

20	Variabilidad en el porcentaje de grasa de almendras fermentadas (G) de árboles híbridos obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	96
21	Porcentajes promedio de grasa en almendras fermentadas (G) obtenidos en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	97
22	Porcentajes promedio de grasa en cotiledones de almendras fermentadas (G) obtenidos en cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). CATIE, Turrialba.....	100
23	Relación entre peso medio observado y peso medio calculado de almendra seca en gramos como promedio de los clones padres de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). Experimento 14.....	120
24	Relación entre porcentaje observado y porcentaje calculado de testa como promedio de los clones padres de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>). Experimento 14.	

En el Apéndice

Cuadro N^o

1A	Resumen de datos meteorológicos durante el trabajo de campo. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1985-1986.....	161
2A	Cuadrados medios estimados para diferentes caracteres de la almendra estudiados en cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	166
3A	Habilidad Combinatoria General para porcentaje de almendra fermentada (PC), peso medio (W), porcentaje de testa (T) y porcentaje de grasa (G) de cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>) utilizados en cruces dialélicos.....	167
4A	Estimaciones de varianza genética aditiva (V_A), genética dominante (V_D), ambiental (V_E), fenotípica total (V_P) y heredabilidad estricta (h^2) y amplia (H) para diferentes caracteres de la semilla de cruces dialélicos entre cuatro cultivares de cacao (<u>Theobroma cacao L.</u>).....	168

5A	Valores promedio de las variables en estudio en tres cruces en cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.) del Experimento 12.....	169
6A	Coefficientes de correlación de Pearson estimados para los caracteres en estudio de la almendra de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.).....	170

LISTA DE FIGURAS

En el texto

Figura N ^o		Página
1	Gaveta fermentadora de semilla de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.) dividida en compartimentos..	48
2	Comportamiento promedio de la temperatura de semillas de cacao en 120 horas de fermentación según el cruce dialélico entre los cuatro padres seleccionados.....	62
3	Comportamiento promedio de la temperatura de fermentación de la semilla de cacao según la según la posición de la caja.....	63
4	Comportamiento promedio de la temperatura de semillas de cacao según la serie de fermentación.	65

En el Apéndice

Figura N ^o		
1A	Disposición de las parcelas con los cruces dialélicos de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.) del Experimento 14. CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	162
2A	Disposición de las parcelas con los tratamientos del Experimento 12 en cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.). CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	163
3A	Porcentaje de humedad de la almendra de cacao según medición del detector.....	164
4A	Tiempo de tostado (minutos) a 163 °C (325 °F) según el porcentaje de humedad y peso de 100 almendras de cacao (<u>Theobroma cacao</u> L.).....	165

RESUMEN

La calidad del cacao es un factor importante para la aceptación en el mercado internacional. Solamente con una fermentación adecuada, se puede obtener chocolate de alta calidad. En Costa Rica el cacao no es beneficiado porque el mercado no paga por calidad. Poco o nada se conoce sobre la capacidad genética de fermentar adecuadamente los materiales utilizados en la producción de semilla de cacao.

Esta investigación tuvo como objetivos: a) observar el comportamiento de la temperatura y la acidez durante la fermentación de materiales híbridos de cacao. b) Observar la variabilidad de los caracteres porcentaje de fermentación, peso medio, porcentaje de testa y porcentaje de grasa en la almendra. c) Determinar la herencia de estos caracteres, mediante la estimación de los efectos de Habilidad Combinatoria General (ACG) y Específica (ACE).

Se utilizó un dialelo 4x4 entre los 'cv. SCA-6', 'UF-613', 'UF-29' y 'CATONGO', con seis árboles por parcela y 4 repeticiones, localizado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, el cual fue uniformizado en el producción mediante polinización manual. Adicionalmente,

se incluyó varios cruces del Experimento 12 y tres repeticiones de 28 clones seleccionados.

La cosecha de cada árbol de los diferentes cruces y clones fue fermentada en compartimientos individuales practicados en gavetas Rohan. Se realizó seis fermentaciones con un mínimo de tres bandejas, las cuales fueron rotadas en su posición a las 48, 72, y 96 horas. A las 120 horas, el material sometido a secado hasta el 6% de humedad en un secador tipo Samoa modificado. En cada fermentación se midió la temperatura cada 6 horas y el pH después del proceso y luego del secado.

Se evaluó el porcentaje de fermentación mediante la Prueba de Lija (PL) y de Corte (PC), con 50 almendras por muestra.

Se determinó el peso seco con y sin testa de 200 almendras tostadas en un horno a 160 °C, durante un tiempo variable según el peso y humedad de la almendra. Posteriormente, los cotiledones fueron molidos y se determinó el contenido de grasa por el método Soxhlet.

Los resultados indicaron diferencias en el incremento inicial de la temperatura según el material genético, la posición de la gaveta y la serie de fermentación, aunque estos factores no fueron independientes entre si. Los

valores de pH de los híbridos no presentaron grandes diferencias, no así para gaveta y serie de fermentación.

La variación entre árboles dentro de un cruce fue alta para porcentaje de fermentación y grasa, y baja para peso medio y porcentaje de testa. Las diferencias entre los promedios de estas variables para el Experimento 12, no alcanzaron significación. Los clones estudiados mostraron grandes diferencias significativas entre ellos, excepto para porcentaje de grasa.

En el estudio de fermentación, la Prueba de Lija fue influenciada por la herencia del color del cotiledón, y por lo tanto, el efecto de HCE resultó mayor que el de HCG.

Se concluyó que esta prueba no es adecuada para evaluar fermentación en material de almendra blanca (Criollos o mutantes).

El carácter medido por la Prueba de Corte mostró una heredabilidad intermedia ($H=57,0\%$), gobernado por genes aditivos, ($h^2=41,0\%$). Como progenitor masculino y femenino el 'UF-29' obtuvo los valores más elevados.

El peso medio resultó un carácter muy heredable ($H=78,1\%$), gobernado casi en su totalidad por genes aditivos ($h^2=77,5\%$). La HCG del clon 'UF-613' fue la más alta, mientras que la del 'SCA-6' fue alta pero negativa.

El porcentaje de testa fue el carácter más estable, el cual correlacionó negativamente con el peso medio. La herencia en sentido amplio y estricto resultó de 83,3% y 76,4% respectivamente. El 'SCA-6' obtuvo el valor más alto y el 'UF-613' el más bajo.

El porcentaje de grasa resultó un carácter gobernado por genes aditivos, pero de baja heredabilidad (H y h^2 de 12,5%). El 'CATONGO' mostró una HCG positiva y significativa para grasa.

Se recomienda investigar mejores métodos de evaluación del beneficiado, así como estudiar las características citogenéticas del 'SCA-6'. Además, se recomendó confirmar el comportamiento del 'CATONGO' como alto productor de grasa y la influencia del grano de polen en la herencia de esta característica.

SUMMARY

Quality of cacao is an important factor for acceptance in the international market. High quality chocolate can be obtained only with adequate fermentation. In Costa Rica cacao is not fermented because there is no payment for quality. Little or nothing is known about genetic behaviour of materials used for seed production.

The objectives of this study were: a) to observe the temperature and acidity during fermentation of hybrid cacao materials; b) to observe the variability of percent fermentation, average weight, shell percentage and percent fat of the kernel; c) to determine the inheritability of these characters by means of the estimation of General Combining Ability (HCG) and Specific Combining Ability (HCE).

A 4x4 diallel between the cultivars 'SCA-6', 'UF-29', 'UF-613' and 'CATONGO' was used, with six trees per plot and four replications at CATIE, Turrialba, Costa Rica. Production was uniformized by manual polinization. Several crosses from Experiment 12 and three replications of 28 selected clones were also included.

The product of each tree of the different crosses and clones was fermented in individual compartments in Rohan

trays. Six fermentations were carried out with a minimum of three trays which were rotated at 48, 72 and 96 hours. At 120 hours, material was dried to 6% humidity in a modified Samoa dryer.

Temperature was measured every six hours during fermentation and pH was measured after fermentation and after drying.

Percent of fermentation was evaluated by the Pouncing Paper Test (PL) and Cut Test (PC) with 50 kernels per sample.

The dry weight with and without shell was determined for 200 beans toasted in an oven at 160 °C for different times depending on weight and humidity of beans. Afterwards, cotyledons were ground and the fat content was determined by the Soxhlet Method.

Results indicated differences in temperature behaviour according to the genetic material, tray position and fermentation series although these factors were not independent from each other. Values for pH the hybrids did not present great differences, as did the trays and fermentation series.

Variations for trees within one cross was high for percent of fermentation and fat and low for average weight and shell percentage. Differences between the averages of

these variables for Experiment 12 were not statistically significant. Clones studied showed differences among them except for the fat content.

In the study of fermentation, the Pouncing Paper Test determined the inherited color of cotyledon and thus the HCE effect resulted higher than the HCG.

It was concluded that this test is not addecuated to evaluate fermentation in white cotyledon material.

Values shwon by the Cut Test showed an intermediate heredity ($H= 57,0\%$) governed by additives genes, ($h^2= 41,0\%$). As male and female father, 'UF-29' had the highest values.

Average weight was very hereditary ($H= 78,1\%$) governed almost totally by additive genes ($h^2= 77,5\%$). The HCG of 'UF-613' was the highest while the 'SCA-6' was high but negative.

Percent of shell was the most stable characteristic, which related negatively with the average weight. Inheritance in the broad and restricted sense was 83,3% and 85,4% respectively.

The 'SCA-6' had the highest value and the 'UF-613' the lowest.

Fat percent was governed by additive genes but of low heredity (H and h^2 of 12,5%). 'CATONGO' showed a positive HCG and significant for fat.

It is recommended to investigate better evaluating methods for fermentation, as well as possible cytogenetical characteristics of 'SCA-6'. In addition, it is recommended that 'CATONGO' behaviour as a high fat producer and the influence of pollen grain in the heredity of this characteristic be confirmed.