

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
CARRERA INTERDISCIPLINARIA
EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

INDICADORES QUIMICOS DE LA CALIDAD DEL GRANO
SECO DE CACAO (Theobroma cacao L.) Y SU
APLICACION.

ELBA MARIA CUBERO CASTILLO

TESIS PRESENTADA ANTE LA CARRERA
INTERDISCIPLINARIA EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADA EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO

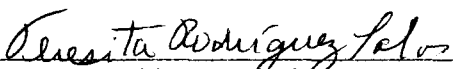
1990

INDICADORES QUIMICOS DE LA CALIDAD DEL GRANO
SECO DE CACAO (Theobroma cacao L) Y SU
APLICACION

ELBA MARIA CUBERO CASTILLO

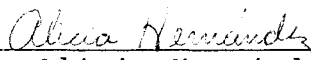
Tesis presentada a la Carrera Interdisciplinaria en Tecnología
de Alimentos como requisito parcial para optar al grado de:
LICENCIADA EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADA POR:




Lic. Teresita Rodríguez Salas

DIRECTORA DE TESIS




Lic. Alicia Hernández Peñaranda

PROFESORA ASESORA



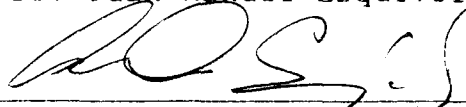
M. Sc. Jorge Alvarez Gelabert

PROFESOR ASESOR



M. Sc. Juan Manuel Esquivel Kruse

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



PhD. Luis Carlos González Umaña

PROFESOR DESIGNADO

A DIOS.

A mis queridos padres: Jesús y Elba.

Y a mis hermanos: Mercedes,

Francisco, Alvaro y Rafael Angel.

AGRADECIMIENTOS

Deseo dejar constancia de mi más sincero y eterno agradecimiento a todas aquellas personas, que de una u otra forma, colaboraron con la realización de esta Tesis:

A los integrantes del Comité Asesor: Lic. Teresita Rodríguez Salas, Lic. Alicia Hernández Peñaranda y M.Sc. Jorge Alvarez G., cuyas valiosas contribuciones, sugerencias y apoyo hicieron posible la culminación de esta investigación.

Al Dr. Gustavo A. Enríquez Calderón, por su invaluable estímulo y por la sabia orientación brindada, sin la cual este trabajo no hubiese aportado ninguna novedad al campo de la investigación.

A la Dra. Flérida Hernández, por su paciencia y consejos prestados en el área de estadística, sin los cuales no hubiese podido aprovechar al máximo la información recopilada durante la etapa experimental del estudio.

Al M.Sc. Víctor Hugo Porras, quien colaboró en la identificación de las zonas cacaoteras y en la recopilación del cacao proveniente de los intermediarios y agricultores.

A Marilé García Vargas, por su valiosa y desinteresada ayuda durante la etapa experimental. A la Lic. Ileana Alfaro, por los consejos tan oportunos; a la Lic. Alice Pérez por la ayuda en los análisis cromatográficos y por su apoyo; a María Isabel Martínez C. por brindarme parte de su tiempo para recolectar muestras y ordenar los datos experimentales, y al M. Sc. Roberto Díaz quien aportó información importante que de otro modo no hubiese conseguido.

Al Centro de Investigaciones en Productos Naturales por permitirme hacer uso de sus instalaciones. A la señora Allen Azofeifa y al señor Juan Carlos Brenes quienes estuvieron siempre prestos a ayudarme en el laboratorio.

Al personal de campo y del área de estadística del CATIE por la preparación de las muestras de cacao y por la evaluación estadística hecha.

A todas las personas que conocí en el laboratorio, quienes con su amistad hicieron agradable mi estancia en el CIPRONA.

A Dios, por haberme dado la fortaleza de llegar al final, y a mis padres y hermanos, por su incondicional apoyo y paciencia.

INDICE

	página
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE.....	vi
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE APENDICES.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	8
2.1 Zonas productoras de cacao.....	8
2.2 Recolección de las mazorcas.....	8
2.3 Constitución del grano seco de cacao.....	10
2.4 Factores que influyen en la calidad final del grano.....	11
2.4.1 Influencia de la variedad genética.....	11
2.4.2 Influencia del ambiente sobre el beneficiado del cacao.....	13
2.4.3 Influencia del beneficiado sobre la calidad final.....	14
2.5 El proceso de fermentación.....	16
2.5.1 Fase hidrolítica o anaerobia de la fermentación.....	16
2.5.2 Fase oxidativa de la fermentación.....	20
2.6 Evaluación de la calidad de los granos de cacao seco.....	22
2.6.1 Prueba de corte.....	23
2.6.2 Pruebas químicas.....	24

2.7	Cambios más importantes que ocurren en el grano y su posible influencia en el sabor del chocolate.....	25
2.7.1	Cambios en el contenido de proteínas durante la fermentación.....	25
2.7.2	Cambios en el contenido de polifenoles totales.....	27
2.7.3	Cambios en el contenido de acidez.....	30
2.7.4	Cambios en el contenido de grasa.....	32
2.8	Rendimiento industrial.....	33
2.9	Situación actual de la actividad cacaotera en el país.....	34
3.	MATERIALES Y METODOS.....	36
3.1	Localización.....	36
3.2	Etapa I.....	36
3.2.1	Materia prima.....	36
3.2.1.1	Genotipos de cacao evaluados...	36
3.2.1.2	Lugares estudiados.....	37
3.2.1.3	Tratamiento recibido por las muestras.....	37
3.2.2	Análisis químicos y físicos.....	38
3.2.3	Diseño experimental.....	41
3.3	Etapa II.....	43
3.3.1	Materia prima.....	43
3.3.2	Diseño experimental.....	45
3.3.3	Análisis químicos.....	45
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	47

4.1	I Etapa: Evaluación de diez parámetros químicos utilizando muestras de cacao seco en grano de cuatro genotipos conocidos que se encuentran fermentados y sin fermentar, recolectados de dos altitudes diferentes sobre el nivel del mar.....	47
4.1.1	Peso seco.....	47
4.1.1.1	Efecto del genotipo sobre la fermentación en el peso seco....	49
4.1.1.2	Efecto de la altitud del lugar sobre el genotipo en el peso seco.....	52
4.1.2	Porcentaje de ceniza.....	55
4.1.2.1	Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de ceniza.....	55
4.1.2.2	Efecto de la altitud sobre la fermentación en el porcentaje de ceniza.....	59
4.1.2.3	Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de ceniza.....	61
4.1.3	Análisis de pH y acidez total (mL NaOH 0,1M/g).....	63
4.1.3.1	Efecto del genotipo sobre la fermentación en el pH y la acidez.....	63
4.1.3.2	Efecto de la altitud sobre la fermentación en el pH y la acidez total.....	68
4.1.3.3	Efecto de la altitud sobre el genotipo en el pH y la acidez total.....	70
4.1.4	Porcentaje de nitrógeno total.....	73
4.1.4.1	Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de nitrógeno total.....	73

4.1.4.2	Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de nitrógeno total.....	75
4.1.5	Porcentaje de nitrógeno soluble.....	77
4.1.5.1	Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje nitrógeno soluble.....	77
4.1.5.2	Efecto de la altitud sobre la fermentación en el porcentaje de nitrógeno soluble.....	79
4.1.5.3	Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de nitrógeno soluble.....	82
4.1.6	Porcentaje de grasa.....	84
4.1.6.1	Efecto del genotipo sobre la fermentación en el contenido de grasa.....	84
4.1.6.2	Efecto de la altitud sobre el genotipo en el contenido de grasa.....	86
4.1.7	Porcentaje de polifenoles totales, taninos y contenido de antocianinas.....	89
4.1.7.1	Efecto del genotipo sobre la fermentación en los contenidos de polifenoles totales, taninos y antocianinas.....	89
4.1.7.2	Efecto de la altitud sobre la fermentación en los contenidos de polifenoles totales, taninos y antocianinas.....	95
4.1.7.3	Efecto de la altitud sobre el genotipo en los contenidos de polifenoles totales, taninos y antocianinas.....	101
4.1.8	Correlaciones.....	106
4.1.9	Selección de los parámetros químicos...	112

4.2	II Etapa: Evaluación de la calidad del cacao cuatro zonas cacaoteras de Costa Rica en dos épocas del año.....	120
4.2.1	Comparación entre zonas y entre épocas.....	120
4.2.1.1	Análisis de pH.....	120
4.2.1.2	Porcentaje de ceniza.....	126
4.2.1.3	Contenido de antocianinas.....	130
4.2.2	Calidades de cacao encontradas en cada zona y época.....	133
5.	CONCLUSIONES.....	142
6.	RECOMENDACIONES.....	145
7.	BIBLIOGRAFIA.....	147
8.	APENDICE.....	155

INDICE DE CUADROS

- CUADRO 1. COMPOSICION QUIMICA DE LOS COTILEDONES DE ALMENDRAS FERMENTADAS Y SECAS DE CACAO "MATINA" DE COSTA RICA Y DE CACAO HIBRIDO DE BRASIL.....10
- CUADRO 2. RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS DIEZ ANALISIS LLEVADOS A CABO EN CACAO DE CUATRO GENOTIPOS, FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, TOMADOS DE DOS ALTITUDES DIFERENTES SOBRE EL NIVEL DEL MAR. COSTA RICA. 1989.....48
- CUADRO 3. COEFICIENTE DE CORRELACION ENTRE LA PRUEBA DE CORTE Y LOS DIEZ ANALISIS EVALUADOS.....107
- CUADRO 4. VALORES ASIGNADOS A CADA ANALISIS DE ACUERDO AL GRADO DE FERMENTACION QUE PRESENTEN, LOS CUALES SE APLICAN AL CACAO EN GRANO SECO (Theobroma cacao), PARA CONOCER SU CALIDAD.....115
- CUADRO 5. VALORES PROMEDIO DE pH, PORCENTAJE DE CENIZA Y ANTOCIANINAS, CORRESPONDIENTE A CACAO HIBRIDO, (Theobroma cacao), RECOLECTADO EN CUATRO ZONAS CACAOTERAS, EN DOS EPOCAS DIFERENTES DE COSECHA.....121
- CUADRO 6. PORCENTAJE DEL NUMERO DE MUESTRAS QUE PRESENTARON DIFERENTES CALIDADES EN CUATRO ZONAS PRODUCTORAS DE CACAO, EN DOS EPOCAS DEL AÑO.....134

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	PORCENTAJE DE PRODUCCION DE CACAO EN GRANO, A TRAVES DEL AÑO EN COSTA RICA.....	9
FIGURA 2.	EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION MEDIDO CON EL PESO SECÓ, GRAMOS.....	50
FIGURA 3.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL PESO SEC, GRAMOS.....	53
FIGURA 4.	EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE CENIZAS.....	56
FIGURA 5.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE CENIZAS.....	60
FIGURA 6.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL PORCENTAJE DE CENIZAS.....	62
FIGURA 7.	EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL pH.....	64
FIGURA 8.	EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN LA ACIDEZ TOTAL, mL NaOH 0,1 M/g CACAO.....	64
FIGURA 9.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LA FERMENTACION EN EL pH.....	69
FIGURA 10.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LA FERMENTACION EN LA ACIDEZ TOTAL, mL NaOH 0,1 M/g CACAO.....	69
FIGURA 11.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL pH.....	71
FIGURA 12.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN LA ACIDEZ TOTAL, mL NaOH 0,1 M/g CACAO.....	71
FIGURA 13.	EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO TOTAL.....	74
FIGURA 14.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO TOTAL.....	76
FIGURA 15.	EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO SOLUBLE.....	78
FIGURA 16.	EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO SOLUBLE.....	80

FIGURA 17.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO SOLUBLE.....	83
FIGURA 18.	EFFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE GRASA.....	85
FIGURA 19.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL PORCENTAJE DE GRASA.....	87
FIGURA 20.	EFFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE POLIFENOLES TOTALES.....	90
FIGURA 21.	EFFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE TANINOS CONDENSABLES.....	91
FIGURA 22.	EFFECTO DEL GENOTIPO SOBRE LA FERMENTACION EN EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS, ABSORBANCIA....	92
FIGURA 23.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE POLIFENOLES TOTALES.....	97
FIGURA 24.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LA FERMENTACION EN EL PORCENTAJE DE TANINOS CONDENSABLES.....	99
FIGURA 25.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LA FERMENTACION EN EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS, ABSORBANCIA...	100
FIGURA 26.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL PORCENTAJE DE POLIFENOLES TOTALES.....	102
FIGURA 27.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL PORCENTAJE DE TANINOS CONDENSABLES.....	103
FIGURA 28.	EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL GENOTIPO EN EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS, ABSORBANCIA.....	104
FIGURA 29.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE pH PRACTICADO A CACAO DE CUATRO ZONAS CACAOTERAS, EN DOS EPOCAS DEL AÑO.....	122
FIGURA 30.	RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE CENIZAS PRACTICADO A CACAO DE CUATRO ZONAS DE COSTA RICA EN DOS EPOCAS.....	128
FIGURA 31.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE ANTOCIANINAS PRACTICADO A CACAO DE CUATRO ZONAS DE COSTA RICA EN DOS EPOCAS.....	131

INDICE DE APENDICES

APENDICE A.	NORMA NACIONAL PARA LA CLASIFICACION DEL CACAO SECO EN GRANO.....	156
APENDICE B.	COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCION DE CACAO, SU VALOR COMERCIAL Y PRECIO PROMEDIO PAGADO AL PRODUCTOR, EN EL PERIODO 1978-1988 (COSTA RICA).....	157
APENDICE C.	ESTIMACION DEL AREA CULTIVADA (ha) DE CACAO POR REGIONES (1987).....	158
APENDICE CH.	DIFERENCIAS EXISTENTES ENTRE EL CACAO FERMENTADO Y SIN FERMENTAR PARA LOS DIEZ ANALISIS APLICADOS A CUATRO GENOTIPOS EN DOS ALTITUDES DIFERENTES.....	159
APENDICE D.	VALORES PROMEDIO PARA CADA UNO DE LOS ANALISIS QUIMICOS DE LOS DIFERENTES GENOTIPOS FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR. COSTA RICA, 1989.....	160
APENDICE E.	VALORES PROMEDIO PARA LOS DIEZ ANALISIS REALIZADOS A CACAO FERMENTADO Y SIN FERMENTAR EN DOS ALTITUDES DIFERENTES. COSTA RICA, 1989.....	161
APENDICE F.	VALORES PROMEDIO PARA LOS DIEZ ANALISIS REALIZADOS A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO EN DOS ALTITUDES DIFERENTES. COSTA RICA, 1989.....	162
APENDICE G.	REGIMEN PROMEDIO MENSUAL DE LLUVIAS EN CUATRO ZONAS DEL PAIS, EN DOS EPOCAS DIFERENTES....	163
APENDICE H.	TEMPERATURAS PROMEDIO M PARA CUATRO ZONAS DEL PAIS EN DOS EPOCAS DEL AÑO. COSTA RICA, 1989.....	163
APENDICE I.	CONSTITUCION QUIMICA APROXIMADA DE LOS SUELOS DE LA FINCA LA LOLA Y DEL CATIE EN TURRIALBA.....	164
APENDICE J.	RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO Y QUIMICOS PRACTICADOS A DOS GENOTIPOS, FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE VERE DE MORAVIA. COSTA RICA, 1989.....	164

- APENDICE K. RESULTADOS DEL PUNTAJE DE LA PRUEBA DE CORTE REALIZADA A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO, FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DIFERENTES.....165
- APENDICE L. RESULTADOS DEL ANALISIS DE HUMEDAD PRACTICADOS A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO, FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DIFERENTES SOBRE EL NIVEL DEL MAR.....165
- APENDICE LL. PROMEDIOS DE LOS ANALISIS DE HUMEDAD LLEVADOS A CABO A MUESTRAS RECOGIDAS DE LOS AGRICULTORES DE CUATRO ZONAS DEL PAIS EN DOS EPOCAS DEL AÑO.....166
- APENDICE M. PESO EN GRAMOS DE CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (Theobroma cacao), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....166
- APENDICE N. PORCENTAJE DE CENIZAS CORRESPONDIENTE A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (Theobroma cacao), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....167
- APENDICE N. VALORES DE pH CORRESPONDIENTES A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (Theobroma cacao), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....167
- APENDICE O. ACIDEZ TOTAL, mL de NaOH 0,1 M/ g CACAO, CORRESPONDIENTE A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (Theobroma cacao), FERMENTADO Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....168
- APENDICE P. PORCENTAJE DE NITROGENO TOTAL CORRESPONDIENTE A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (Theobroma cacao), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....168
- APENDICE Q. PORCENTAJE DE NITROGENO SOLUBLE CORRESPONDIENTE A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (Theobroma cacao), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....169
- APENDICE R. PORCENTAJE DE GRASA CORRESPONDIENTE A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (Theobroma cacao), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....169

APENDICE S.	PORCENTAJE DE POLIFENOLES TOTALES CORRESPONDIENTE A CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (<u>Theobroma cacao</u>), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....	170
APENDICE T.	PORCENTAJE DE TANINOS CONDENSABLES EN CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (<u>Theobroma cacao</u>), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....	170
APENDICE U.	VALORES DE ABSORBANCIA CORRESPONDIENTES A LOS CONTENIDOS DE ANTOCIANINAS DE CUATRO GENOTIPOS DE CACAO (<u>Theobroma cacao</u>), FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, DE DOS ALTITUDES DE COSTA RICA.....	171
APENDICE V.	ENCUESTA.....	172

RESUMEN

Este estudio tuvo los siguientes objetivos:

- Establecer parámetros químicos que ayuden a medir la calidad del cacao seco en grano.
- Determinar la calidad del cacao que se cosecha y beneficia en las diferentes zonas productoras del país, en dos épocas diferentes.

Para ello se utilizaron cuatro genotipos de cacao , a los cuales se les aplicó el proceso de fermentación en un caso y en otro no. Este procedimiento se siguió en dos lugares a diferente altitud sobre el nivel del mar: a 600 msnm, en la finca experimental del Catie, Turrialba y a 40 msnm, en la finca experimental La Lola. A estas muestras se les analizó: peso seco, % de ceniza, pH, acidez total, % de nitrógeno total y soluble, % de grasa, % de polifenoles totales, de taninos y contenido de antocianinas, y además la prueba de corte. En una segunda etapa, se tomaron muestras de intermediarios de cacao y de productores, de las siguientes zonas: Atlántica, Norte, Sur y Pacífico Central; este muestreo se hizo en época lluviosa (noviembre de 1988) y en época seca (abril de 1989). Se analizaron con los parámetros escogidos en la primera etapa: pH, % de ceniza y

contenido de antocianina.

Al comparar los cuatro genotipos se encontró que los acriollados (el grupo Criollo y el grupo Trinitario) poseían un peso mayor que los forasteros (el grupo Forastero y el cultivar Catongo), al igual que el porcentaje de ceniza, mientras que el porcentaje de grasa presentó un comportamiento contrario. Los acriollados también tuvieron un pH más bajo que los forasteros sin fermentar; sin embargo, cuando se fermentaron, el grupo Criollo fue el que mostró el pH más bajo, le siguió el grupo Forastero y el grupo Trinitario y el de pH más alto fue el cultivar Catongo; los acriollados ganaron más acidez que los forasteros durante el beneficiado. De acuerdo con el nitrógeno total y soluble no hubo diferencias estadísticas significativas entre los cuatro genotipos. El porcentaje de polifenoles totales fue mayor en los acriollados y en el cultivar Catongo que en el grupo Forastero sin fermentar, al fermentarse este último cultivar contenía mayor cantidad que el grupo Trinitario el cual no presentó diferencias estadísticas significativas con el Catongo y finalmente el grupo Criollo. Los taninos se presentaron en mayor cantidad en el grupo Criollo y en menor cantidad en el Catongo sin fermentar, al fermentarse fue este último el que poseía menos taninos y los otros tres genotipos no presentaron diferencias estadísticas entre sí. El grupo Criollo presentó más antocianinas que el grupo Forastero, luego el grupo

Trinitario y finalmente el Catongo sin fermentar, después de que se fermentan fue el grupo Forastero el que más antocianinas retuvo.

Al comparar las altitudes se encontró que el peso del grano no presentaba una tendencia definida a ser mayor en una u otra. En cuanto al contenido de cenizas, polifenoles totales, taninos y antocianinas en el cacao sin fermentar, en la altitud de 40 msnm (La Lola) contenía más que a 600 msnm (Turrialba); para el pH y el porcentaje de nitrógeno soluble, el contenido fue mayor a 600 msnm, mientras que la acidez, % de nitrógeno total y de grasa no mostraron diferencias entre altitudes. Al fermentarse el cacao los primeros componentes mencionados, además de la acidez, se presentaron en mayor cantidad a 600 msnm, por lo que se deduce que a una altitud de 40 msnm (La Lola) se favoreció más los cambios dentro del cotiledón durante la fermentación, debido a que la temperatura del proceso suele ser mayor.

La prueba de corte correlacionó al 5% de probabilidad con el % de polifenoles totales y el contenido de antocianinas y al 1% de probabilidad con el peso seco, % de ceniza, pH, acidez total y % de nitrógeno total.

La evaluación del cacao híbrido cultivado en el país

mostró que el de la zona Sur fue el que presentó la calidad más baja en cuanto a fermentación, le siguió el de la zona Atlántica, el de la zona Norte y finalmente el del Pacífico Central. No obstante, los cacaos de ninguna zona llegaron a tener valores por los cuales se cataloguen como bien fermentados. Por otro lado, hay que tener en cuenta que existen productores y cooperativas que tienen buenos sistemas de fermentación, los cuales procesan el 12% del cacao producido en las zonas evaluadas. El resto del cacao no recibe fermentación o se le aplica un tratamiento deficiente.

Las conclusiones más relevantes son:

- Los parámetros químicos que en conjunto se pueden utilizar para evaluar la fermentación son: pH, el contenido de cenizas y de antocianinas.

- Existe diferencias en los cambios ocurridos durante el proceso de fermentación provocadas por el genotipo, los acriollados se fermentan más fácilmente o sufren cambios más pronunciados que los forasteros; lo anterior parece estar relacionado con el contenido de grasa, donde a mayor porcentaje de grasa mayor lentitud en las variaciones ocurridas durante el beneficiado.

- Al cacao se le aplica un mal tratamiento post cosecha en todo el país, únicamente en zonas donde el cultivo no ha sido tradicional o en fincas que producen grandes

cantidades de cacao - se le presta más atención a la fermentación; no obstante, son muy pocos; y la situación se agrava durante los meses más secos del año.

Se recomienda estudiar la fermentación realizada en diferentes sistemas: sacos, gavetas Rohan y montones; para poder determinar bien el número de días que debe durar el proceso y el número de remociones, utilizando los tres indicadores de calidad encontrados en la presente investigación, para evaluar los resultados. Además repetir el sondeo a nivel nacional al cabo de dos años para evaluar las mejoras impuestas tanto a nivel agronómico como de manejo post cosecha.

1. INTRODUCCION

El cacao (Theobroma cacao L.) es un cultivo bastante importante y antiguo en América y en Costa Rica. No obstante, el desarrollo de la actividad comercial cacaotera ha sido relativamente lento, sobre todo en nuestro país; debido a una serie de factores entre los cuales están: 1. El bajo rendimiento del cultivo, ocasionado por un manejo agronómico deficiente de las plantaciones. 2. Las enfermedades, sobre todo la monilia a partir de 1979. 3. La falta de asistencia técnica, de crédito y distribución del material genético apropiado. Unido a estos problemas, el bajo precio al que se ha cotizado este producto desanimó a los cacaoteros nacionales. Ante esta situación, varias instituciones gubernamentales, de enseñanza y privadas se han preocupado por cambiar este panorama (Soto y Vargas, 1989).

El inicio del Programa de Fomento Cacaotero en 1984 y la ejecución de una serie de proyectos en diferentes regiones del país han provocado la reactivación paulatina de la actividad cacaotera. Se ha promovido el cultivo de poblaciones híbridas de mayor producción y resistencia a enfermedades, principalmente en regiones en las que este producto no ha sido tradicional, pero que están convirtiéndose en las principales áreas cacaoteras (63%),

como son: Bruncá (38%), Huetar Norte (19%) y Pacífico Central (6%) (Jiménez, 1989). hasta diciembre de 1988, se contaba con un área sembrada de 28000 ha (Jiménez, 1989), con más de 5000 productores, en su gran mayoría con menos de 5 ha por explotación (Soto y Vargas, 1989).

Con la creación del Programa Nacional de Cacao en 1989, se espera para el quinquenio 89-93 un crecimiento aún mayor del área de cultivo (9000 ha nuevas) y la rehabilitación de áreas con bajo rendimiento (14000 ha), lo que permitirá satisfacer la capacidad industrializadora del país (7200 TM de cacao seco) y reactivar la exportación (Jiménez, 1989).

Por lo anterior, se estima que la producción de cacao está en franca recuperación y es imperativo que este mayor volumen de producción se maneje correctamente, para obtener una buena calidad. Una vez que se logre cubrir los requerimientos nacionales, el industrializador podrá exigir calidad. A partir de este punto, todos los productores se verán en la necesidad de fermentar y secar bien su cacao para poder competir, ya que este beneficiado influye directamente en la calidad del cacao (Soto y Vargas, 1989).

Los productores de cacao, en su mayoría, realizan el proceso de fermentación en forma deficiente o incluso no lo llevan a cabo. Por lo general, el cacao una vez

recolectado puede seguir diferentes rutas:

1. Algunos productores lo venden húmedo a un intermediario, logrando precios bastante bajos.

2. Otros agricultores hacen uso del secado solar sin una fermentación previa.

3. Muchos productores, a pesar de que cuentan con instalaciones para el fermentado, secado y almacenamiento, lo hacen de manera rudimentaria e irregular, porque carecen de las técnicas básicas para la obtención de un producto de buena calidad para el mercado (Soto y Vargas, 1989).

4. Finalmente, aquellos pocos que llevan acabo un buen proceso de fermentación y de secado.

Para mejorar esta situación se requieren no solamente programas de fomento del beneficiado correcto, sino también parámetros confiables para medir el progreso que se logre. Por lo tanto, es importante contar con los métodos adecuados para evaluar la calidad del grano que producen los agricultores, y hacer esta evaluación en el país.

En la literatura se encuentran algunos estudios a nivel internacional que pretenden medir o mejorar la calidad del cacao seco en grano. La mayoría de ellos se basan en la prueba de corte, aunque algunos utilizan parámetros químicos (Alvarado, Villacís y Zamora, 1989; Bracco et al., 1969; Seiki, 1973; Shamsuddin y Dimick, 1986). hay

investigaciones sobre cambios que ocurren en el grano de cacao a lo largo del proceso de fermentación (Forsyth, 1952a, 1952b; Forsyth y Quesnel, 1957a, 1957b; Enríquez, 1982; López, 1986; Quesnel, 1971 y Rohan, 1964), realizados con una sola variedad o con el cacao beneficiado por los productores de los países donde se llevó a cabo el estudio. Varios autores han sugerido algunos análisis químicos como posibles indicadores de calidad (Bracco et al., 1964; Cros et al., 1982; Cross, Villeneuve y Vincent, 1982, 1984); sin embargo, hay diversidad de criterios a este respecto y las conclusiones a las que se llega en muchos casos no son claras.

A nivel nacional, se han realizado estudios que se refieren a la calidad del cacao basados en la prueba de corte (Vargas, 1988 y Ramírez, 1988). Se han evaluado diferentes técnicas de fermentación y el efecto de la zona en dichas técnicas (Arroyo, 1987; Madriz, 1987; Pardo, 1988; Ramírez, 1988 y Vargas, 1988). Además se ha dado especial importancia a estudios sobre variedades de cacao resistentes a enfermedades y, en general, relativos a aspectos agronómicos o al proceso de fermentación de las semillas. No obstante, no se ha llevado a cabo una investigación que utilice análisis objetivos y que contemple en conjunto los factores más importantes que afectan la calidad, como son la variedad, la altitud de la localidad, la fermentación.

Sumado a lo anterior, hasta setiembre de 1988, el país no contaba con parámetros establecidos para medir la calidad del cacao seco en grano, por lo que el manufacturero lo compraba de acuerdo con el porcentaje de humedad, el porcentaje de moho interno y de insectos. A partir de esta fecha, se estableció la Norma Nacional publicada en La Gaceta (Costa Rica, 1989), que está basada en la prueba de corte. Sin embargo, esta prueba no refleja objetivamente la calidad del cacao y el fabricante tiene serios problemas para estandarizar sus productos, al igual que el comerciante en el Mercado Internacional, donde el cacao seco en grano se paga de acuerdo al grado de fermentación que presente. De ahí la necesidad de mejorar la calidad del grano y lograr que la mayoría de los lotes tengan características semejantes. Sin embargo, como ya se mencionó no hay parámetros químicos establecidos que sustituyan la prueba de corte o la complementen, por lo que se deben buscar esos indicadores químicos que ayuden a medir dicha calidad. Una vez que se establezcan, se tendrán bases firmes para realizar una evaluación a nivel nacional. Este sondeo de calidad reviste especial importancia al constituirse en el apoyo de futuros esfuerzos para mejorar la calidad del grano de cacao, sobre todo en lo que concierne a la fermentación.

Con base en lo expuesto se propuso los siguientes objetivos:

- Establecer parámetros químicos que ayuden a evaluar la calidad del cacao seco en grano, contemplando la influencia del genotipo, de la localización del cultivo y la aplicación o no del proceso de fermentación.
- Evaluar el cacao de las diferentes zonas cacaoteras del país utilizando análisis químicos.

Objetivos específicos.

- Medir el efecto de la altitud de la zona donde se produce el cacao sobre el proceso de beneficiado por medio de análisis químicos.
- Evaluar el efecto del cultivar de cacao sobre el proceso de beneficiado por medio de análisis químicos.
- Medir los cambios que sufren algunos constituyentes de los cotiledones después del proceso de fermentación, tomando en cuenta varios genotipos y altitudes de los lugares donde se benefició.
- Comparar la calidad del cacao de cuatro zonas cacaoteras del país, utilizando los indicadores de calidad

establecidos previamente.

- Comparar la calidad del cacao en dos épocas de cosecha, la lluviosa y la seca, por medio de los indicadores de calidad establecidos previamente.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Zonas productoras de cacao.

El cacao (Theobroma cacao) es nativo de las selvas vírgenes y cálidas de Sur América Tropical. Este árbol requiere de un clima cálido, suelo rico, abundantes lluvias y protección contra el viento. Cerca de un tercio de la producción mundial total procede de América Latina, especialmente de Brasil, Ecuador, República Dominicana, México y Colombia. Africa Occidental, con un rendimiento de casi dos tercios del total mundial es la principal región productora de cacao, particularmente Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerun (Brenton, 1974).

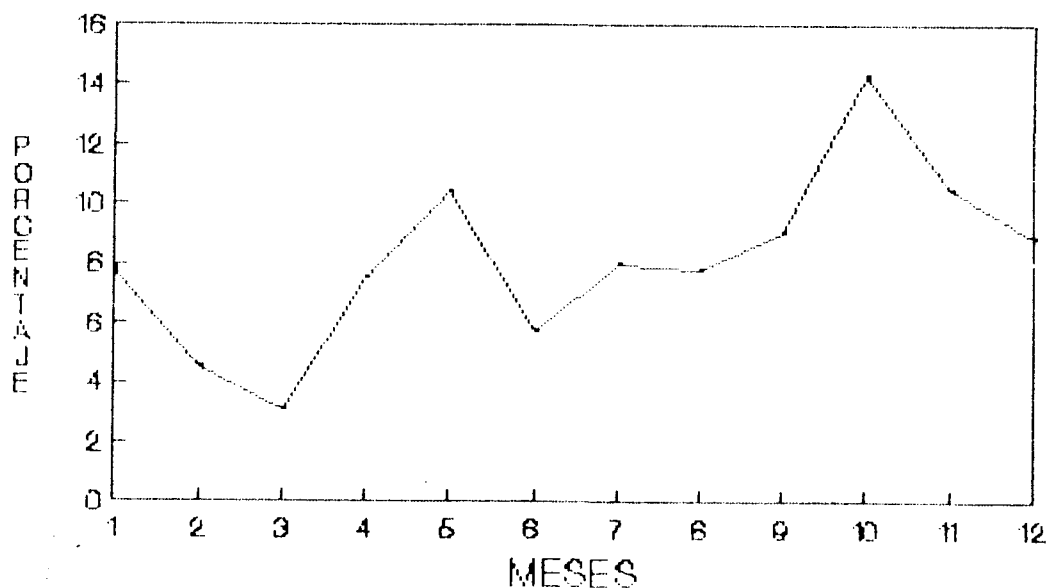
2.2 Recolección de las mazorcas.

Un indicativo para iniciar la cosecha de cacao, es el cambio de color de la mazorca. Las de color verde se tornan amarillas cuando maduran y las de color rojo se tornan anaranjadas. Es importante conocer el momento apropiado de cosecha; si las mazorcas se sobremaduran, las semillas pueden germinar adentro, afectando la calidad del cacao, y si se recolectan antes de que alcancen su madurez esto influye desfavorablemente sobre la fermentación, debido a que el contenido de azúcar en la pulpa es reducido (IICA,

1982).

La recolección de las mazorcas se realiza durante todo el año conforme alcanzan su madurez. Sin embargo, se pueden diferenciar épocas de cosecha baja y alta. Los picos anuales de producción de las áreas cacaoteras del país tienden a ser muy semejantes en el tiempo, así se tiene que una distribución muy parecida, dependiendo de las condiciones normales de precipitación, sería la que se muestra en la Figura 1 (Ramírez, 1987).

Figura 1 Porcentaje de la producción anual de cacao seco en grano, en Costa Rica.



Los valores corresponden al promedio obtenido para diez años de seguimiento de la producción.

2.3 Constitución del grano seco de cacao.

El grano de cacao consiste esencialmente de una cubierta, conocida como testa, un embrión, que representan del 10 al 14 % del peso seco de la almendra, y dos cotiledones grandes entrelazados entre sí, que corresponden a casi todo el 86 al 90 % restante. Estos son los que se utilizan en la fabricación del chocolate. La cáscara tiene poco valor comercial, por lo que, la constitución de los cotiledones es de más importancia que la de la cáscara y tiene considerable relación con el sabor y aroma característicos del cacao (Rohan, 1964). En el Cuadro 1 se presenta la composición química promedio de los cotiledones de algunos cacaos.

CUADRO 1

Composición química de los cotiledones de almendras fermentadas y secas de cacao "Matina" de Costa Rica y de cacao híbrido de Brasil. (Anónimo, 1962 y Spoladore, 1983).

Compuesto	% Materia Seca	
	Costa Rica	Brasil
Grasa	59,60	47,53
Nitrógeno total	2,14	1,87
Azúcares totales	----	2,93
Fibra	10,70,	12,20
Cenizas	----	2,71
Teobromina	1,19	0,35
Cafeína	0,16	0,17
Humedad	6,20	4,44
pH	5,70	----

---- No se da el dato.

2.4 Factores que influyen en la calidad final del grano.

La calidad final del cacao depende de varios factores, entre ellos:

1. La variedad genética.
2. Medio ambiente donde está el árbol.
3. La sanidad de la mazorca.
4. La fermentación adecuada de las almendras.
5. El secado de la almendra.

Los dos primeros aspectos están parcial o totalmente fuera del control del agricultor, pero los restantes son de su competencia y habilidad (Enríquez, 1982).

2.4.1 Influencia de la variedad genética.

El sabor inherente del cacao de una fuente particular de granos está determinado principalmente por la variedad de los árboles. Se pueden identificar dos amplios tipos de granos de cacao: cacao común, el cual representa la mayoría a nivel mundial y provienen de árboles Amelonados y Amazónicos, ubicados bajo la denominación de Forasteros, y el cacao fino que proviene de árboles Criollos y Trinitarios, denominados Acriollados.

Los diferentes cacaos comunes, forasteros, los cuales

crecen principalmente en Africa Occidental y en Brasil, son semejantes en cuanto a que poseen un sabor a chocolate muy fuerte. Los árboles son de tipo similar entre sí, pero hay diferencias en la forma en que los productores preparan el grano, lo cual aumenta las diferencias en el sabor del chocolate y en algunos casos, esto es causa de malos sabores.

Los cacaos finos son de varios tipos y cada uno tiene sus propias características de sabor. El sabor potencial del cacao fino es debido básicamente a la variedad genética de los árboles que lo producen; sin embargo, el desarrollo del sabor final al chocolate depende únicamente del correcto proceso de fermentación y secado como en el cacao común (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984).

Dentro del tipo de cacao de los forasteros se encuentra un cultivar llamado Catongo, que corresponde a un mutante albino de este genotipo. Los Trinitarios son híbridos formados por el cruce de un forastero con un Criollo, de manera que estos cacaos poseen una mezcla de las características de ambos genotipos.

Existe una diferencia básica en la capacidad de fermentar entre estos dos tipos de cacao (Criollos y Forasteros). El cacao Criollo se fermenta en un período

corto de dos a tres días; el Forastero lo hace en cinco a siete días y en ocasiones en más tiempo (Pardo, 1988).

2.4.2 Influencia del ambiente sobre el beneficiado del cacao.

Se conoce poco sobre el ambiente y los efectos genéticos en la química de la semilla y el significado de cualquier diferencia en la fermentación (Lehrian y Patterson, 1983).

Phillips (1948), citado por Pardo (1988), observó diferencias en la velocidad de calentamiento del cacao en fermentaciones entre dos épocas de cosecha. Allison y Kenten (1963), nuevamente citados por Pardo (1988), demostraron que el mayor incremento de temperatura logrado con cacao de la cosecha principal, no era debido a la temperatura ambiental, sino a un mucílago más húmedo, como consecuencia de una precipitación mayor durante el desarrollo de la mazorca.

Romeu (1980) detectó una variación en la acidez de las almendras que dependió no solamente de la época de cosecha y fermentación, sino también del lugar de procedencia del cacao.

La escasez de agua o de nutrientes en el suelo, puede

variar la composición bioquímica de los cotiledones (Enríquez, 1985). La deficiencia de cobre puede disminuir la formación de la enzima polifenoloxidasa, provocando una mayor astringencia en el cacao procesado.

Rohan (1960) y Wood (1982) mencionados por Pardo (1988) indican que las condiciones externas, tales como temperatura ambiental muy baja y alta humedad relativa en el momento de la fermentación, pueden retrasar e inclusive impedir el ascenso de la temperatura de la masa, formándose las llamadas fermentaciones "muertas" o "babosas".

Ramírez (1988) señala que las temperaturas generadas por cuatro sistemas de fermentación de pequeñas cantidades en la localidad de Turrialba (600 msnm) se mantuvieron por debajo del nivel térmico producido en localidades situadas a alturas inferiores a los 80 msnm, de modo que a mayor altitud la fermentación se demora más tiempo y se deduce que la velocidad e integridad con que se realiza el proceso, en una zona como Turrialba, es menor que en otras localidades con menor altura, no desenvolviéndose adecuadamente las fases del proceso.

2.4.3 Influencia del beneficiado sobre la calidad final.

En la mayoría de los casos, en las mismas fincas donde

se hace la recolección, se efectúa el proceso conocido como "beneficio", que consiste en partir la mazorca, extraer las semillas con la testa y la pulpa y someterlas a un proceso de fermentación y secado (Alvarado et al., 1983).

El sabor del cacao se desarrolla en dos etapas: la primera involucra la fermentación y el secado y la segunda el tostado en la fábrica (Wood, 1980).

Los métodos de fermentación usados en cacao, aún en la actualidad, son relativamente primitivos. La fermentación en cajas, en montones, canastos o huecos en el suelo y la fermentación en plataformas de secado, utilizadas en Ecuador y otros países latinoamericanos, son los métodos más usados (Desrosiers y Molina, 1962).

La duración de la fermentación varía de acuerdo al método usado y a la variedad genética predominante de la semilla pero comúnmente tarda de tres a ocho días (The Cocoa, Chocolate and Confectionery alliance, 1984).

Durante la fermentación se elimina la pulpa mucilaginoso, se evita la germinación del embrión por muerte, se desencadenan modificaciones bioquímicas en el interior de los cotiledones y se disminuye la astringencia y el amargor (Alvarado et al., 1983).

La fermentación es indispensable para obtener un buen cacao. En efecto un chocolate elaborado a partir de almendras no fermentadas se caracteriza por una fuerte astringencia y una ausencia de aroma, mientras que el elaborado a partir de almendras fermentadas se caracteriza por una débil astringencia, una amargura aceptable y un sabor bien desarrollado (Cross et al., 1982).

2.5 El proceso de fermentación.

Generalmente se usa mal el término fermentación cuando se aplica a la cura del cacao, porque aunque las fermentaciones típicas alcohólicas, acéticas y lácticas ocurren en la pulpa que rodea la semilla, los cambios que ocurren dentro de la semilla son reacciones bioquímicas entre enzimas y su sustrato, las cuales dan como resultado la formación de precursores del sabor.

2.5.1 Fase hidrolítica o anaerobia de la fermentación.

En la fase inicial de la fermentación el pH de la pulpa oscila entre 3,4 - 4,0, el contenido del azúcar entre 8 - 24% y el oxígeno es limitado. Estas condiciones favorecen el crecimiento anaerobio de levaduras, que producen alcohol, dióxido de carbono y enzimas pectinolíticas en las primeras 24 a 36 horas de

fermentación. El colapso de las células parenquimatosas de la pulpa forma espacios entre los granos a través de los cuales se filtra el aire.

La pérdida de ácido cítrico, metabolizado y drenado con el jugo, causa un aumento de pH, que junto con el aumento de la concentración de etanol y una mejor aereación inhibe el crecimiento de las levaduras. Cuando la aireación aumenta se favorece el crecimiento de las bacterias acéticas y otras cepas aerofílicas (López, 1986). Quesnel (1971) menciona que la fermentación anaeróbica de azúcar a etanol libera poco calor (3 o 4 °C más que el ambiente), mientras que la oxidación de etanol a dióxido de carbono y agua libera gran cantidad de calor, por lo que la temperatura comienza a elevarse en el segundo día y puede mantenerse en 48 °C a partir del tercero.

Durante la fermentación, un aumento en la aireación no necesariamente conlleva un incremento en el contenido de oxígeno en la pulpa. Esto se debe a que las levaduras, quienes dominan la fase temprana en la fermentación, son también aerofílicas. En condiciones con poco oxígeno, ellas convierten los azúcares de la pulpa en etanol y dióxido de carbono, mientras bajo condiciones aeróbicas, ellas oxidarán los azúcares directamente a dióxido de carbono y agua. Así, el sistema retornará rápidamente al

estado anaeróbico si hubiera una restricción del aire libre suplido, como ocurre durante las primeras 24 a 30 horas de fermentación, cuando los espacios entre los granos de cacao son ocupados por pulpa que todavía contiene considerable cantidad de humedad. Más tarde, cuando el líquido en las células de la pulpa se drena y hay maceración, se forman los espacios de aire entre los granos, y el oxígeno empieza a entrar al centro de la masa en fermentación al cabo de doce horas de iniciado el proceso (Dougan, 1981). Estos espacios originalmente se llenan con el dióxido de carbono producido del metabolismo de los azúcares, pero después del primer volteo el aire lo desplaza. Los cambios en el régimen de aireación efectuados después del primer y segundo volteo proveen un ambiente más apropiado para las bacterias acéticas que para las levaduras (López, 1979b).

El volteo y la profundidad del fermento determinan la acidez. El mezclado temprano en la fermentación tiende a favorecer la producción de etanol y decrece la producción de ácido láctico. La disminución del grado de aireación en la fermentación por reducción del número de volteos y acortamiento de la duración de la fermentación disminuye los niveles de ácido acético y láctico en el cacao curado. En el caso contrario, una sobreaireación conduce a un aumento de pH, hasta alrededor de 5,8. Una fuerte aireación puede causar una sobrefermentación (Bin y Samarakhody, 1987).

Durante el estado inicial de la fermentación, el etanol y el ácido acético que se producen en la pulpa entran a la semilla y junto con la temperatura alta (45 - 50 °C) matan al embrión. Antes de la muerte del embrión, ocurren muy pocos cambios químicos dentro del cotiledón. Cuando muere, el etanol, el ácido acético y el agua, que se difunden en el grano, actúan como solventes para el sustrato y las enzimas, lo que facilita su interacción en los sitios de actividad (López, 1986). Bajo condiciones naturales de fermentación esto generalmente toma al menos de 24 a 36 horas a una temperatura inferior a los 45 °C (Biehl y Passern, 1982).

Cuando el interior de los cotiledones es anaeróbico, ocurren reacciones enzimáticas hidrolíticas. Esto se manifiesta por la difusión y blanqueo de los pigmentos de la célula de almacenamiento y la absorción de agua del tejido (López, 1986).

Durante la fase anaeróbica, al inicio de la fermentación, las antocianinas se destruyen rápidamente. La glicosidasa del cacao se activa tan pronto como muere la semilla y los sustratos migran a los sitios activos. La 3-β-D-galactosidil cianidina y 3-α-L-arabinosil cianidina, responsables del color púrpura del cacao forastero, se hidrolizan a azúcar y cianidina, lo cual provoca el

blanqueo. El pH óptimo de esta reacción está entre 4,0 y 4,5 a 45 °C y se inactiva por los productos de oxidación de los complejos polifenólicos que se empiezan a generar en la fase oxidativa (López, 1986; Rohan, 1964). Aunque los pigmentos no poseen ningún sabor marcado o potencial, la hidrólisis de polifenoles es importante ya que hay una relación inversa entre el desarrollo del sabor y el color púrpura retenido después de la fermentación. Esto sugiere que las condiciones requeridas para el rompimiento de antocianinas también son aquellas para la producción del buen sabor (López, 1986).

Otra reacción importante que ocurre durante la fase anaerobia es la hidrólisis de proteínas a aminoácidos y péptidos. La proteólisis ocurre a 55°C y pH 4,7 (López, 1986).

El oscurecimiento por la polifenoloxidasas en esta fase no ocurre, debido a la presencia de ácido cítrico y ascórbico y por la falta de oxígeno (López, 1986).

2.5.2 Fase oxidativa de la fermentación.

Alrededor del cuarto día, cuando el oxígeno empieza a entrar al grano y la concentración de ácidos orgánicos activan la oxidasa, se inician una serie de reacciones

oxidativas enzimáticas que dan como resultado el oscurecimiento de los cotiledones. Sin embargo, la fase anaerobia y la fase oxidativa se traslapan porque, aunque el oxígeno penetra la superficie del cotiledón, las partes internas permanecen aún anaerobias (López,1986).

Se cree que la fase oxidativa contribuye con la formación de sabores auxiliares, pero la función más importante es la reducción de la astringencia y el amargor por la oxidación de polifenoles. Las reacciones enzimáticas oxidativas que se iniciaron en la fermentación continúan durante el secado hasta que la humedad necesaria para que se efectúen disminuya. El tejido del grano se encoge y los dobleces se abren resultando en un incremento de la aireación. Algunas reacciones oxidativas no enzimáticas pueden continuar todavía (López,1986; Quesnel, 1971).

Si la oxidación ocurre en el cotiledón inmediatamente después de la muerte del embrión, la actividad de las enzimas se interrumpe y resulta un producto con un deficiente sabor a chocolate. Además, una fase anaerobia demasiado extensa resultará en pérdidas de cantidades excesivas de material soluble y que pueden ser precursores del aroma, lo que se traduciría en un débil sabor. Un corto período oxidativo no permitirá la taninación de la proteína u oxidación de polifenoles, lo que provocará excesiva

astringencia y amargor (López, A. 1986).

2.6 Evaluación de la calidad de los granos de cacao seco.

En granos de cacao secos sin fermentar no se desarrolla el sabor y aroma asociado con el chocolate (Cross et al.,1982); por lo que la buena calidad del grano de cacao se puede definir con base en las características físicas y químicas de un grano bien fermentado.

Las necesidades del fabricante o aquellos criterios que le permiten juzgar acerca de la calidad de la materia prima para sus productos, pueden clasificarse en cuatro categorías principales:

Sabor

Dureza de la manteca de cacao

Pureza

Rendimiento

Las características físicas y la presencia de defectos pueden ser medidas objetivamente, pero el sabor es un aspecto de juicio subjetivo y que puede ser evaluado únicamente en forma objetiva por la presencia de defectos que influyan sobre el sabor (Powell, 1982).

Estos defectos se refieren a la presencia de sabor a

moho, el cual se intensifica al aumentar la presencia de mohos internos en el grano. Es importante mencionar que este tipo de sabor no se puede remover durante el proceso de elaboración del chocolate. La existencia de sabor a humo es otro defecto que no puede eliminarse durante el proceso y por lo tanto no es deseado. La acidez, debida a cantidades excesivas de ciertos ácidos que incrementan durante la fermentación, se correlaciona generalmente con un pobre desarrollo del sabor a chocolate. Por último la astringencia y el amargor en exceso son considerados como objetables (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984).

La alternativa más común para evaluar la calidad del grano (asociada al sabor) es la "prueba de corte", basada principalmente en la apariencia interna de las almendras de cacao (Powell, 1982).

2.6.1 Prueba de corte.

La prueba de corte es una medida subjetiva que involucra la evaluación visual de los cambios de color que ocurren dentro de los cotiledones y la presencia de defectos como mohos, insectos y otras materias extrañas.

Esta prueba consiste en tomar trescientos granos y

cortarlos longitudinalmente por la mitad, de manera que quede expuesta la máxima superficie de los cotiledones. Se examinan visualmente las dos mitades de cada grano a plena luz del día o bajo una luz artificial equivalente. Se cuentan separadamente, el número de granos correspondientes a cada tipo de daño o defecto de acuerdo con los criterios mencionados en el Cuadro A (Costa Rica, 1989).

La prueba de corte, aunque revela mucho sobre la calidad del beneficiado, tiene limitaciones; no obstante, es el método que hay disponible, especialmente cuando se trata de granos sometidos a métodos tradicionales de fermentación y secado (Powell, 1982). Además según López (1984), a pesar de aplicar la prueba de corte al cacao brasileño, con límites más rigurosos que los recomendados por FAO, se continúa exportando cacao mal fermentado y de elevada acidez.

2.6.2 Pruebas químicas.

Existe gran cantidad de estudios en los cuales se trata de medir los componentes que producen el aroma y el sabor del cacao. Se ha sugerido algunos tales como aldehídos, la combinación de aminoácidos y azúcares reductores, glucosinolatos, pirazinas, alcoholes y otros; sin embargo, aún no se ha logrado determinar con certeza

cuáles son los componentes responsables del sabor. El sabor del chocolate es el resultado de una combinación compleja de más de trescientos compuestos químicos. Individualmente, ninguno de ellos posee un sabor igual a chocolate, pero ciertas combinaciones de compuestos acetil-sulfúricos con aldehídos, los cuales se forman durante el tostado, dan algunos sabores que se reconocen en el chocolate. Otros estudios se han enfocado hacia la búsqueda de un índice de fermentación de acuerdo al cambio que sufre las almendras de cacao en su composición durante el beneficiado.

2.7 Cambios más importantes que ocurren en el grano y su posible influencia en el sabor del chocolate.

2.7.1 Cambios en el contenido de proteínas durante la fermentación.

Zak y Keeney (1976a) indican que el calor y el ácido generado por los microorganismos causan la muerte del grano, después de lo cual los polifenoles y las proteínas se liberan de sus respectivas células y ocurre el curtido. Conforme avanza el proceso, las proteínas se vuelven más insolubles. Durante los estados tempranos las enzimas hidrolizan las proteínas a componentes solubles en agua, péptidos más pequeños y aminoácidos, los cuales participan, junto con otros trescientos compuestos, en el desarrollo del

sabor del cacao durante el tostado.

Se ha encontrado que el nitrógeno total disminuye durante la fermentación hasta un cierto nivel, mientras que el nitrógeno soluble aumenta hasta cierto punto donde empieza a disminuir. La utilización de una relación del nitrógeno soluble con nitrógeno total permite el seguimiento del curso de la fermentación y provee un estimado de la duración de ésta, relacionada únicamente con la producción de aminoácidos y las proteínas residuales; además es independiente del contenido inicial de proteína del grano (Bracco et al., 1969).

La pérdida de nitrógeno soluble después de cuatro días de fermentación del cacao de Ghana sugiere que la duración del proceso más allá de este punto, en este material genético, resultaría en la pérdida de los componentes productores del aroma (Rohan y Stewart, 1967; Bracco et al., 1969).

La velocidad de degradación de las proteínas es superior a la de desaparición de los productos de esta reacción por difusión a través de la testa y de ello resulta la formación de péptidos y de nitrógeno alfa amínico (Rohan, 1964).

Según Barel et al. (1983) la fracción proteica total muestra un aumento durante el primer día de fermentación para luego empezar a disminuir. El aumento se puede explicar de dos formas:

- por la aparición de proteínas más solubles provenientes de la hidrólisis de moléculas más grandes. Estas últimas presentan una solubilidad menor y no son totalmente extraíbles antes de su hidrólisis.

- por el secado de lotes sin fermentación que se efectúa en las semillas envueltas de mucílago. La evolución de estas muestras no son bien controladas y pueden conducir a resultados difíciles de interpretar;

Después del primer día, la cantidad de proteínas extraíbles decrece y se puede explicar por:

- la formación de complejos insolubles de proteína-polifenoles.

- las reacciones de hidrólisis que liberan aminoácidos y péptidos los cuales se exudan a través de la testa.

2.7.2 Cambios en el contenido de polifenoles totales.

Los polifenoles de la semilla del cacao están en

células de almacenamiento distribuidas en pequeños grupos a través del cotiledón. Estos se pueden difundir a través del grano cuando las células parenquimatosas circundantes hayan perdido su semipermeabilidad, y la magnitud de la difusión puede ser usada como una medida de la extensión del tejido muerto (Quesnel, 1965).

Los compuestos fenólicos están implicados en las modificaciones bioquímicas internas de los cotiledones durante la fermentación. Se ha observado un descenso del conjunto de estos compuestos (fenoles totales, taninos, antocianinas) (Cross, Villeneuve y Vincent, 1984; Cross et al., 1982) que ha sido interpretado por varios autores como el resultado de una oxidación enzimática (Rohan, 1964). La mayoría de los fenoles del cacao corresponden a catequina y los compuestos de la clase de leucoantocianinas. Las leucoantocianinas, siendo distintas formas de la catequina, son poderosos curtientes y se combinan fuertemente provocando un cierto grado de taninación o curtido de la proteína del cacao durante el proceso (Forsyth, Quesnel y Roberts, 1958).

La destrucción de las antocianinas por hidrólisis enzimática va acompañada de una pérdida de la coloración púrpura, porque la cianidina liberada forma una pseudobase estable e incolora y puede decirse que los granos

experimentan un blanqueo durante la fermentación (Rohan, 1964; Forsyth y Quesnel, 1957b). Más tarde, el color de los cotiledones blanqueados cambia al típico del chocolate por la polifenoloxidasas, cuando el grano se expone al aire durante el secado (Forsyth y Quesnel, 1957a).

Durante la fase aeróbica de la fermentación, el oxígeno se difunde por el tejido activando las oxidasas. El primer estado en la oxidación de los polifenoles es la formación de o-quinonas. Estos son agentes oxidantes activos y pueden reaccionar de diferentes formas con una variedad de compuestos que se han formado durante las etapas anteriores. Ellos pueden polimerizarse como catecol para formar difenilos y difenil-quinonas (Quesnel, 1971).

Un grano púrpura no blanqueado puede ponerse marrón, pero con un matiz púrpura, lo cual es signo de mala fermentación y correlaciona con una pobre calidad. Si las condiciones de secado son óptimas para la actividad de la polifenoloxidasas, aunque la etapa de fermentación no fuera satisfactoria, se obtendría un color marrón aunque no gran sabor (Forsyth y Quesnel, 1957a).

La función más importante de esta fase es que reduce la astringencia y el amargor por la oxidación de los polifenoles los cuales forman complejos con las proteínas y

péptidos. Consecuentemente, las proteínas solubles son ligadas, resultando la eliminación del mal sabor atribuido al cacao sin fermentar, después de tostado (López, 1986).

2.7.3 Cambios en el contenido de acidez.

El cotiledón de la semilla no es ácido naturalmente, pero durante el proceso de curado (fermentación y secado) absorbe ácidos y otras sustancias producidas por los microorganismos que fermentan la pulpa circundante. La absorción del ácido que se produce en la fermentación es esencial en el curado del cacao y en el desarrollo de los precursores del sabor. Después de la fermentación, la acidez de los cotiledones se incrementa con la consecuente disminución del pH hasta cerca de 5,0 (López, 1983).

La fermentación del cacao es un proceso accidental en el que la inoculación de las semillas ocurre por casualidad, resultado de la contaminación durante la manipulación después de recolectadas las mazorcas. Esta inoculación accidental por microflora del ambiente junto con los métodos de fermentación tan variados, conducen a una diversidad en los patrones de crecimiento microbiano los cuales afectan los metabolitos producidos en la pulpa (López, 1983).

Hay diferencias de opinión sobre la naturaleza de la

acidez del cacao. Varios estudios señalan tanto los ácidos volátiles como los no volátiles como posibles causantes de acidez (López, 1983). Se ha establecido que los ácidos no volátiles son más importantes en la acidez del cacao porque ellos no se pierden durante el proceso de manufactura. Las cantidades de ácido acético que se pierden, en su mayoría, dependerán del proceso de elaboración del chocolate y en cualquiera de ellos resulta en pérdidas excesivas de ácido acético y de otros compuestos del sabor (López y Passos, 1984).

El ácido acético es el principal ácido producido por los microorganismos, además, otros ácidos son formados en cantidades variables dependiendo de las circunstancias de fermentación (López, 1983).

En los granos de cacao completamente fermentados el ácido acético es el principal ácido. Se ha establecido que este ácido, siendo el más débil, puede, a pesar de su relativa alta concentración, jugar un rol menor en la acidez, que aquellos ácidos más fuertes y menos abundantes, tal como el láctico. Además el ácido acético por su volatilidad puede afectar en menor grado la acidez. Se ha encontrado que alrededor del 15% de éste se pierde durante el tostado a 148 °C por treinta minutos (López, 1983).

En cuanto a los sabores ácidos concierne, únicamente los ácidos libres se consideran importantes, porque las sales de los ácidos no tienen influencia en la acidez, excepto en circunstancias en las que sirvan como fuente de ácidos (López, 1983).

2.7.4 Cambios en el contenido de grasa.

A diferencia de las demás grasas vegetales, la manteca de cacao es sólida a temperatura ambiente (en climas templados), se puede manipular pero se funde fácilmente, pues su punto de fusión es aproximadamente 37 °C. La es el componente principal que determina la dureza, y produce en la boca la sensación de chocolate, aunque otros ingredientes, grasa de leche por ejemplo, y el proceso industrial desempeñan también su parte. Se ha confirmado una variación natural en las mantecas de cacao, tanto en sus propiedades físicas como químicas, y en algunos casos estas variaciones son estacionales indicando que las condiciones climáticas pueden ser un factor determinante. Algunas mantecas son blandas y otras son duras; las mantecas duras son preferidas y tienen una ventaja obvia en climas y estaciones calientes (Powell, 1982).

El contenido de grasa en base seca debe ser de un 56% a un 57%, aunque el Grupo de Trabajo de la FAO indica que

debe ser mayor al 50%, éste varía con el tiempo y es generalmente el más valioso de los componentes de la semilla (Powell, 1982).

2.8 Rendimiento industrial.

En cuanto al rendimiento industrial debe tomarse en cuenta el tamaño de la semilla, el porcentaje de cáscara, el contenido de grasa y el contenido de humedad (Powell, 1982).

El tamaño de la semilla es importante porque afecta el porcentaje de cáscara, el contenido de grasa y el proceso de tostado inicial. El efecto del tamaño de la semilla en el proceso de tostado es uno de los más directos, porque las semillas pequeñas serán tostadas más rápidamente que las grandes. Por esta razón se desea cierta uniformidad de tamaño y ha sido sugerido por la International Cocoa Standards que no más del 12% de los granos deberán tener pesos fuera de un tercio del peso promedio, ya sea por encima o por debajo de este valor (Wood, 1980).

La cáscara es virtualmente un producto de desecho para el fabricante y un nivel del 12% es el máximo permitido por la "Cocoa Alliance".

El contenido de humedad debe estar entre 6% y 7,5%.

Un porcentaje más alto puede propiciar el crecimiento de mohos y uno más bajo origina almendras muy frágiles, fácilmente quebradizas que rebajan la eficiencia en el proceso de la fábrica (Powell, 1982).

Según el "Informe del Grupo de Trabajo de FAO sobre clasificación de cacao fermentado" citado por Vivas (1978) se indica que:

a) Es conveniente que el peso medio del grano fermentado seco de la cosecha principal no sea inferior a 1 gramo.

b) La cutícula (testa) debe ser suelta y entera, bastante fuerte para evitar la rotura, su peso no deberá pasar del 12% del tercio del peso promedio del grano.

c) El contenido de grasa debe ser lo más elevado posible, preferiblemente sobre el 50%.

2.9 Situación actual de la actividad cacaotera en el país.

El cultivo del cacao ha representado para Costa Rica una de las principales actividades agropecuarias, tanto por la extensión sembrada, estructura de tenencia de la tierra y su generación de empleo, como por ser una fuente generadora de divisas.

No obstante, esta actividad se ha visto afectada por

una serie de problemas, esencialmente a partir de 1979 con la aparición de la moniliasis (enfermedad del fruto causada por Moniliophthora roreri), lo que provocó una fuerte contracción de la actividad y un impacto socioeconómico relevante en detrimento del área principal de producción (litoral Atlántico).

A partir de entonces, el país ha realizado una serie de esfuerzos para recuperar esta actividad, los cuales; sin embargo, han carecido de coordinación y dirección responsable.

En el Apéndice B se observa el comportamiento de la producción nacional, su valor y el precio promedio al productor en la última década (Vargas y Cubillos, 1989).

El país contaba con un área sembrada de 28800 ha en diciembre de 1988, donde destaca el litoral Atlántico con un 61,3% de dicha extensión. La estimación del área cultivada en el país por regiones se encuentra en el Apéndice C. Con la creación del Programa Nacional de Cacao (1989) se espera para el quinquenio 89-93 un crecimiento aún mayor del área de cultivo (9000 Ha nuevas) y la rehabilitación de áreas con bajo rendimiento (14000 Ha); lo que no solamente permitirá satisfacer la capacidad industrializadora del país (7200TM), sino que también reactivará la exportación (Jiménez, 1989).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACION.

La parte experimental del estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Productos Naturales (CIPRONA), de la Universidad de Costa Rica.

3.2 ETAPA I.

La primera etapa sirvió para establecer los parámetros químicos con los que se evaluaría la calidad del cacao en la segunda etapa.

3.2.1 MATERIA PRIMA.

Se utilizaron cuatro genotipos o complejos genéticos de cacao: Criollo, Trinitario, Forastero y Catongo; de los cuales se tomó una muestra fermentada y otra sin fermentar. Lo anterior se hizo en dos zonas localizadas a diferente altura sobre el nivel del mar. Las muestras se recolectaron entre los meses de junio y setiembre de 1988.

3.2.1.1 Genotipos de cacao evaluados.

Criollo: Mezcla de granos de los clones EET-48, EET-59,

EET-62, EET-162, EET-96, EET-95 y UF-221.

Trinitario: Mezcla de granos de los clones CC-210, UF-29, UF-668, UF-613, UF-667, UF-296, UF-12, CC-18 y UF-11.

Forastero: Mezcla de granos de los clones Pound-7, EET-400, Pound-12, SPA-9, IMC-67, PA-121, SCA-6 y SCA-12.

Catongo: este material no se encuentra como un complejo genético sino como un cultivar únicamente.

3.2.1.2 Lugares estudiados.

a) Finca Experimental La Lola propiedad del CATIE, en el distrito de Bataán, cantón de Matina, provincia de Limón, a $83^{\circ}25$ longitud oeste y $10^{\circ}05$ latitud norte, con una altitud aproximada de 40 msnm.

b) Sede central del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en el distrito central, cantón de Turrialba, provincia de Cartago, a $83^{\circ}38$ longitud oeste y $9^{\circ}53$ latitud norte, 600 msnm aproximadamente.

3.2.1.3 Tratamiento recibido por las muestras.

La fermentación se realizó en cajas Rohan y en pocas ocasiones en montones de 70 kilogramos. Los montones fueron cubiertos con hojas de plátano y sacos de gangoche y se removían diariamente; la fermentación tardó cinco días con

los dos métodos. En el caso de las cajas Rohan, se estibarón de tres a cinco cajas y se cubrieron con hojas de plátano y con sacos de gangoche. Se dividió una caja en secciones por medio de tabiques de madera delgados, para colocar pequeñas cantidades de material y así fermentar varias muestras en una misma caja. Las otras cajas que se estibaban contenían cacao híbrido, para impedir la fuga de calor de la caja de interés. El secado en todos los casos fue solar.

El cacao no fermentado se lavó, para eliminarle la pulpa y facilitar el secado, el cual también fue solar.

Personeros del CATIE, expertos en la fermentación del cacao, llevaron a cabo el beneficiado del mismo.

3.2.2 ANALISIS QUIMICOS Y FISICOS.

Los análisis se escogieron con base en la literatura consultada. De acuerdo con trabajos anteriores donde se investigaban cambios en la almendra durante la fermentación, se tomaron aquellas pruebas que indicaban mayor variación durante este proceso de beneficiado.

Se realizaron los siguientes análisis: prueba de corte, humedad, peso seco del grano, porcentaje de grasa, porcentaje de ceniza, pH, acidez, porcentaje de nitrógeno

Total y nitrógeno soluble, polifenoles totales, taninos y **contenido** de antocianinas.

El peso se midió con una balanza electrónica marca **Mettler H31AR**, según lo describen Egbe y Owolabi (1972) y se notificó en base seca, corrigiendo de acuerdo con la humedad que presentó el grano.

La determinación del contenido de humedad se hizo utilizando el método descrito en la Norma Ecuatoriana (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1975).

El análisis de grasa se realizó por el método de Soxhlet, utilizando hexano como solvente y una extracción a 70°C durante veinticuatro horas (Cross et al., 1982).

La medición de nitrógeno total y el pH se hizo de acuerdo a los métodos recomendados por Williams (1984).

La acidez se midió con el método descrito por Barel (1987).

Los polifenoles se midieron con el método de Folin-Denis, descrito por Williams (1984). Sin embargo, se hizo una modificación en la preparación de la muestra, se tomó 0,2 gramos de cacao sin grasa y se aforó a 25

mililitros con metanol al 50%. Se agitó cinco minutos y se dejó en reposo una hora. El líquido fue el que sirvió de muestra según lo expuesto por Cross, Villeneuve y Vincent (1982).

Los taninos se analizaron según el método descrito por Broadhurst y Jones (1978). Para ello se usó como muestra, el extracto que se preparó para medir los polifenoles.

Las antocianinas se determinaron por el método de Chassevent y d'Ornano (1966).

El contenido de cenizas y el porcentaje de nitrógeno soluble fueron evaluados con los métodos descritos por Lees (1969).

La prueba de corte se realizó de acuerdo con lo expuesto por Shamsuddin y Dimick (1986), quienes utilizaron una escala edónica para hacer un poco menos subjetiva la prueba. No se utilizó la prueba de corte tradicional, que es igual a la adoptada por la Norma Oficial, pues ésta es más subjetiva que la aplicada en este estudio, al clasificar únicamente el cacao en color violeta o marrón. No se evaluó granos mohosos, ni daño por insectos u otros defectos, ya que las muestras utilizadas no fueron almacenadas y además se llevaron a una humedad menor de 8% para asegurarse de que

no hubiese deterioro externo.

Todos los análisis se realizaron usando cacao con una granulometría de 0,5 μm .

3.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental fue un factorial de 4×2^2 para la primera etapa.

Los factores evaluados fueron: genotipo, proceso de fermentación y altitud, donde para el primero se estudiaron cuatro niveles (Criollo, Trinitario, Forastero y Catongo), para la fermentación dos niveles (con y sin fermentación) y para la altitud dos (40 y 600 msnm) que corresponden a las localidades de La Lola y Turrialba (CATIE) respectivamente. El número de muestras para este estudio debió ser de seis para cada clase de cacao o cada genotipo correspondiente a cada lugar; no obstante, cada análisis se realizó con una sola muestra. Esto debido a que la fermentación de cada una de los genotipos fue la limitante, ya que para llevarla a cabo se requieren al menos diez kilogramos de cacao en "baba" y estas muestras se tomaron de una plantación experimental donde el número de árboles de cada genotipo y de cada clón es muy reducido; por lo que no se pudo analizar más de una muestra. Estos cacaos de cada genotipo no

corresponden a un solo clón, sino a una mezcla de ellos, con excepción del cacao Catongo.

Inicialmente se planeó evaluar una altitud más, a 1300 msnm, en la localidad de Veré de Moravia; sin embargo, de este lugar se perdieron cinco parcelas correspondientes a: Criollo y Catongo, fermentados y sin fermentar y Trinitario fermentado. No se pudo recolectar el material necesario por no existir producción de mazorcas durante el período de muestreo. No se van a usar estos datos; sin embargo, se agregaron en el Apéndice J con el fin de que si se necesitan para otro estudio ya se tienen ciertos datos que son muy valiosos, pero que no se pueden utilizar, pues alteran completamente el análisis estadístico.

A los datos obtenidos se les hizo un análisis de varianza para cada parámetro químico, la prueba de Duncan y la prueba de "Least Square Means". También se realizó un análisis de correlación lineal entre la prueba de corte y todos los análisis químicos y el físico.

Se incluyó en el modelo los efectos principales y las interacciones simples, tomándose como error el remanente experimental con ochenta grados de libertad.

De esta etapa se escogieron los indicadores de calidad,

los cuales se aplicaron en la segunda etapa, además con los datos obtenidos se pudo estudiar el efecto de la altitud y del genotipo sobre la fermentación.

3.3 ETAPA II.

3.3.1 MATERIA PRIMA.

Se tomaron muestras de cuatro zonas del país en dos épocas de cosecha diferentes, a saber una de la época lluviosa y otra de la seca, las cuales coinciden con la mayor y menor producción de cacao durante el año, respectivamente. La escogencia se basó en la Figura 1. La época lluviosa se refiere a que la mazorca se desarrolló, recolectó y benefició en época lluviosa, y lo mismo para la época seca. En cada época se recolectaron muestras a nivel de intermediario o en su defecto a nivel de productor.

El recorrido fue el siguiente:

a) Zona Atlántica (Guácimo, San Isidro Herediana, Siquirres, 28 Millas, La Lola, Matina, Limón centro, Valle de la Estrella, Peshurst, Cahuita, Puerto Viejo, Bri Bri, Bambú, Suretka, Chiroles, Amubri).

b) Zona Norte (La Victoria, Horquetas, Finca Experimental de U.C.R. y Finca Agua en Río Frío,

Coope-San-Carlos, Ciudad Quesada, San Rafael de Guatuso, Upala, Chachagua, Venecia, Montealegre de Cutris, Paso Real de Cutris, Molino de la Vega, San Isidro de Peñas Blancas, Pavón de Los Chiles, Valle Azul, Veracruz, Moravia de Cutri, Platanar, La Gloria, La Fortuna, La Palmera y Santa Rita de Río Cuarto).

c) Zona Sur (San Isidro del General, Palmares de San Isidro, Palmar Norte, Río Claro, Golfito, Ciudad Neilly, Corredores, Laurel, Bella Luz de La Vaca, Río Claro, Coopalca del Sur, Coopalsur, Coopropalca).

d) Zona Pacífico Central (Mastatal y Zapatón de Puriscal, Parríta, Coopefruta en *Villa Nueva de Quepos*, Coopesilencio en Dominical, Hatillo Viejo cerca de Dominical).

La toma de las muestras de cacao correspondiente a la época lluviosa (cosecha principal) se llevó a cabo en la última quincena de octubre y la primera de noviembre. Se recogieron 94 muestras. La siguiente recolección se hizo en la primera quincena del mes de abril (época seca). Se recorrieron los mismos lugares; sin embargo, en esta época la producción disminuye y no fue posible obtener muestras de algunos lugares, pero se recolectó muestras de lugares que anteriormente no se logró. En total, se recolectaron 72

muestras.

Cada muestra de un kilogramo se extrajo de la totalidad de los sacos encontrados en cada local y fué tomada de diferentes partes del saco. Si el número de sacos era mayor de diez, se tomaba una segunda muestra.

Se realizó una encuesta entre los intermediarios y agricultores (Apéndice V) con el fin identificar correctamente las muestras y conocer el tratamiento post cosecha recibieron.

3.3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño estadístico aplicado fue un factorial de 4×2 ; donde los factores a evaluar fueron zona productora, con cuatro niveles, y época del año, con dos niveles.

Los resultados de esta segunda etapa también fueron sometidos a un análisis de varianza para cada análisis químico, a la prueba de Duncan y la prueba de "Least Square Means".

3.3.3. ANALISIS QUÍMICOS.

Tanto a las muestras de la época lluviosa como de la

época seca se les hizo los siguientes análisis: contenido de humedad, pH, porcentaje de ceniza y antocianinas, descritos anteriormente.

Todos los resultados, tanto de la primera como de la segunda etapa, se indican en base seca.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. I ETAPA: EVALUACION DE DIEZ PARAMETROS QUIMICOS UTILIZANDO MUESTRAS DE CACAO SECO EN GRANO DE CUATRO GENOTIPOS CONOCIDOS QUE SE ENCUENTRAN FERMENTADOS Y SIN FERMENTAR, RECOLECTADOS DE DOS ALTITUDES DIFERENTES SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

4.1.1. PESO SECO.

En el Cuadro 2 se observa que los resultados obtenidos fueron estadísticamente diferentes para cada uno de los genotipos, al igual que para el material proveniente de cada altitud y para el cacao fermentado y sin fermentar. Los efectos de la altitud sobre el genotipo (interacción de primer orden) y del genotipo sobre la fermentación fueron también significativas; lo que implica que hubo una respuesta diferente de los cultivares según la altitud y de la fermentación según el genotipo. No hubo diferencias estadísticas significativas entre las fermentaciones de una u otra altitud; los cambios en el cacao durante la fermentación ocurrieron en igual forma a los 40 msnm como a los 600 msnm, lo cual puede deberse a que el peso seco depende en mayor grado del genotipo, y aunque sufra cambios éstos serán menos pronunciados que los existentes debidos a la genética.

CUADRO 2.

Resumen de los análisis de varianza para los diez análisis llevados a cabo en cacao de cuatro genotipos, fermentados y sin fermentar, tomados de dos altitudes diferentes sobre el nivel del mar. Costa Rica, 1989.

CUADRADO MEDIO

Puente de. variación	G.L.	Peso seco	% ceniza	pH	Acidez total	% Nitrógeno total	% Nitrógeno soluble	% grasa	% Polifenoles totales	% taninos	Antocianinas
Genotipo	3	0,971**	0,818**	0,352**	8,187**	0,010	0,327**	103,453**	1,934**	10,555**	1,778**
Permentación	1	0,238**	12,723**	56,273**	144,919**	1,263**	0,076**	189,588**	67,990**	166,990**	21,025**
Altitud	1	0,047**	0,321**	0,076**	1,473**	0,212**	0,756**	40,172**	11,753**	0,503	0,647**
G.x A.	3	0,093**	0,690**	0,041**	0,509**	0,077*	0,361**	166,351**	4,410**	5,606**	1,167**
G.x P.	3	0,106**	0,263**	0,281**	8,357**	0,070**	0,436**	31,101**	20,322**	7,662**	1,614**
P.x A.	1	0,007	1,342**	0,293**	1,060**	0,074	0,916**	0,032	33,690**	9,570**	0,902**
G.xP.xA.	3	0,013*	0,573**	0,081**	2,253**	0,044	0,672**	70,986**	2,522**	5,829**	1,168**
Error	80	0,0035	0,0057	0,0015	0,048	0,026	0,0038	1,238	0,140	0,185	0,0014
C.V.		4,56%	2,44%	0,64%	7,51%	7,79%	8,39%	2,12%	7,80%	12,80%	6,19%

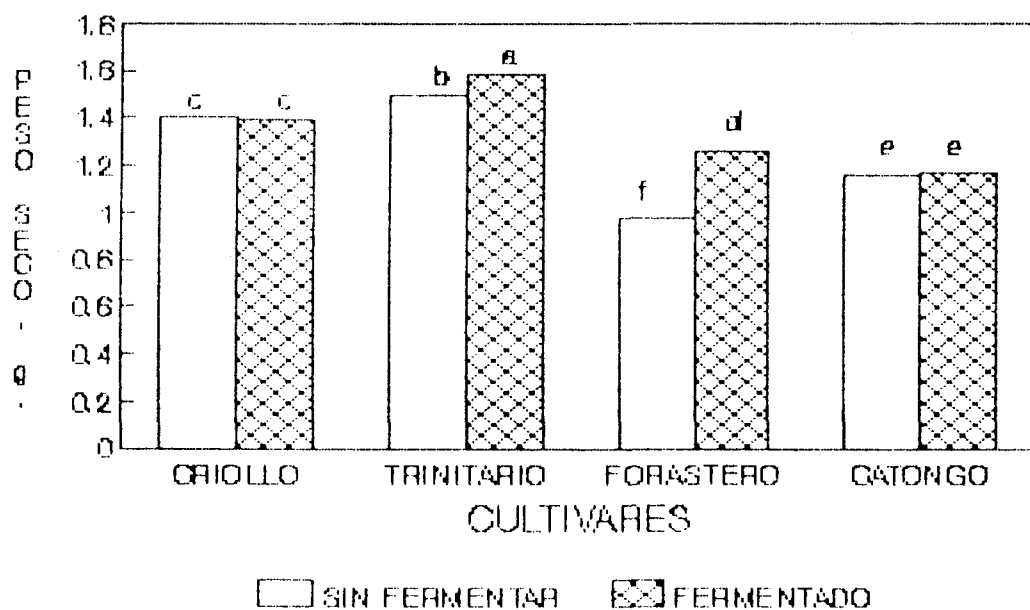
*,** : significancia al nivel de 5% y 1% de probabilidad, respectivamente.

4.1.1.1. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el peso seco.

El cacao fermentado mostró mayor peso seco para los genotipos Trinitario y Forastero al compararlo con cacao sin fermentar, pero para los cultivares Criollo y Catongo el peso no varió al ocurrir la fermentación (Figura 2).

De acuerdo a trabajos anteriores (Arroyo, 1987; Madriz, 1987; Ramírez, 1988; Rohan, 1964; Vargas, 1988) donde se midió el peso de los granos secos, se esperaba que el peso se mantuviera constante o disminuyera, pero no que aumentara al fermentarse la almendra. Sin embargo, es importante mencionar que en estos estudios no se aclaró como se midió el peso seco; no obstante, se investigó y se encontró que llaman peso seco al peso del grano de cacao después de secado, el cual aún contiene al menos un 8% de humedad, y no le hicieron corrección para tomarlos en base seca. En esta investigación se llama peso seco al peso de los granos secados al sol o artificialmente pero corrigiendo posteriormente de acuerdo con la humedad que presentaron, es decir en base seca. Al igual que en este trabajo, Vargas (1988), Madriz (1987) y Arroyo (1987) encontraron que no existen diferencias estadísticas significativas entre el cacao bien fermentado y mal fermentado. Además Rohan (1964) y Ramírez (1988) informaron que debe haber una disminución

FIGURA 2 Efecto del genotipo sobre la fermentación en el peso seco, en gramos.



Datos tomados del Apéndice D.

de peso asociada al proceso de fermentación, como consecuencia de la exudación de sustancias que ocurre durante el beneficiado. A pesar de que ocurran estas exudaciones del cotiledón hacia la testa, a causa del aumento de permeabilidad de las células de la almendra, también hay ingreso de sustancias, sobre todo ácido acético y etanol; por lo que realmente no hay una pérdida neta, y a esto se debe que en algunos casos no exista diferencia de peso entre el cacao sin fermentar y fermentado. El aumento de peso del cacao Forastero no se puede explicar claramente, es probable que se deba al ingreso de pequeñas cantidades de ácidos y otras sustancias solubles. Este aumento de peso durante la fermentación podría ser una ventaja más que obtendrían los agricultores, del proceso de fermentación, y se le quita validez a la justificación que dan algunos de ellos para no fermentar, de acuerdo a la información recabada por medio de las encuestas (Apéndice V), quienes aseguran que el cacao pierde peso al fermentarse.

Los cultivares acriollados, ya sea que estén sin fermentar o fermentados, presentaron un peso mayor que los forasteros. Una afirmación semejante la hizo Soria (1966), quien indicó que las mazorcas y semillas de los cacaos forasteros eran más pequeñas que las de los trinitarios. También Alvarado, Villacís y Zamora (1983) compararon un clon Forastero y uno Criollo, y encontraron que este último

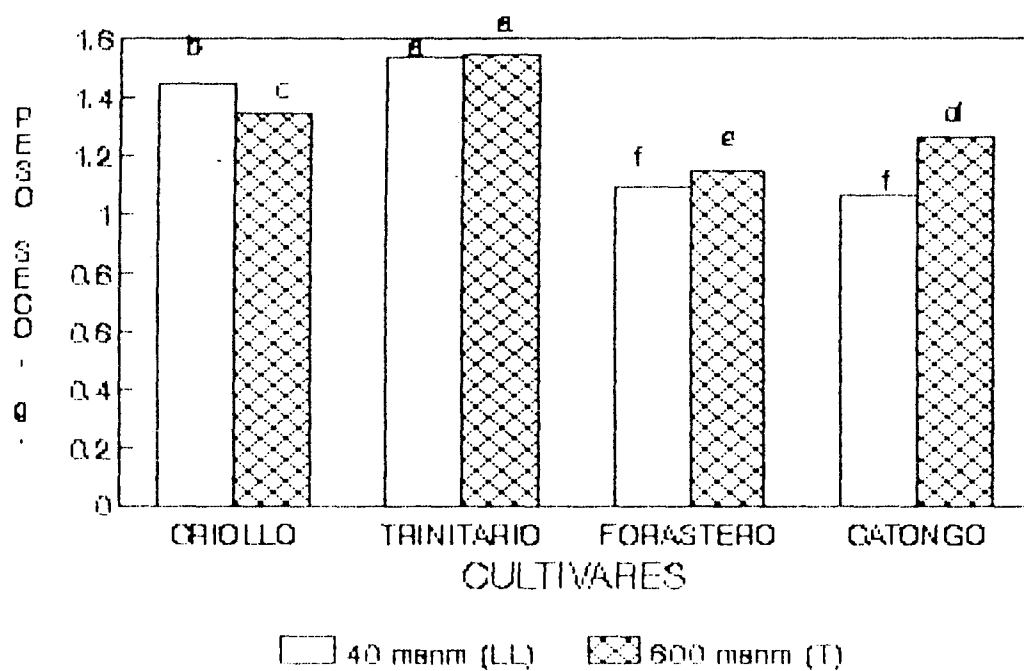
tiene mayor peso que el primero. Hardy (1966) informó que las semillas del cacao Criollo tienen un tamaño mayor, y mayor peso, que las del cacao Forastero.

El tamaño del grano, y por lo consiguiente su peso, es un atributo genético de gran importancia para la industria chocolatera, por estar relacionada directamente con el rendimiento del producto; entre mayor tamaño tenga el cacao menor porcentaje de testa presentará, con lo que el material de desecho será menor (De Witt, 1953 y Alvarado y Bullard, 1961 citados por Pardo, 1988). De ahí que la Norma Nacional, al igual que todas las normas existentes estiman que el peso mínimo del grano debe ser de 1 gramo. También es importante mencionar que la uniformidad de los granos es básica en el proceso de tostado en la fábrica, para lograr que todos los granos se tuesten igual en un mismo tiempo, si hubieran granos pequeños y grandes mezclados, los pequeños se quemarían o los grandes no se tostarían bien (Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984). En las Figuras 2 y 3 se observa que los cuatro genotipos mostraron un peso mayor al gramo.

4.1.1.2. Efecto de la altitud del lugar sobre el genotipo en el peso seco.

En la Figura 3 se observa que los cuatro genotipos

FIGURA 3. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el peso seco, gramos



Datos tomados del Apéndice F.

fueron diferentes entre sí, ya sea a 40 msnm (La Lola) o a 600 msnm (Turrialba). El genotipo cuyos granos presentaron mayor peso seco fue el Trinitario y su comportamiento fue igual en ambas altitudes. El Forastero y el Catongo fueron los que menor peso seco mostraron, y es a los 40 msnm donde los pesos fueron aún más bajos. En este estudio los cacaos acriollados (Criollo y Trinitario) presentaron mayor peso de grano, y por lo tanto mayor tamaño, en cualquier altitud que se cultive, en comparación los cacaos forasteros (Forastero y Catongo), como ya se mencionó y explicó.

A los 600 msnm se produjeron granos cuyo peso seco fue mayor que los correspondientes a 40 msnm, para dos de los genotipos estudiados, excepto para el Criollo cuyo peso fue mayor en esta última altitud y el Trinitario que no mostró diferencias estadísticas significativas entre una y otra.

Este comportamiento se podría explicar de varias maneras. Una de ellas es el hecho de que los clones recolectados en La Lola (40 msnm) no eran exactamente los mismos que los de Turrialba (600 msnm); sin embargo, al tratarse de clones del mismo genotipo la variación es despreciable. En su lugar, resulta de más peso atribuirle las diferencias a aspectos agronómicos y climáticos, pues Turrialba (600 msnm) posee un suelo con menor cantidad de minerales que el de La Lola (40 msnm), con la excepción del

fósforo; y su suelo sufre menor evaporación a pesar de que la precipitación es menor (IICA, 1963; Díaz, 1989). Lo cual se refuerza con lo expuesto por Wood (1980), quien dijo que el tamaño del grano del mismo material genético plantado variará de un país a otro; esto puede deberse a las lluvias y a otros factores climáticos que influyen en el desarrollo de la mazorca (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984).

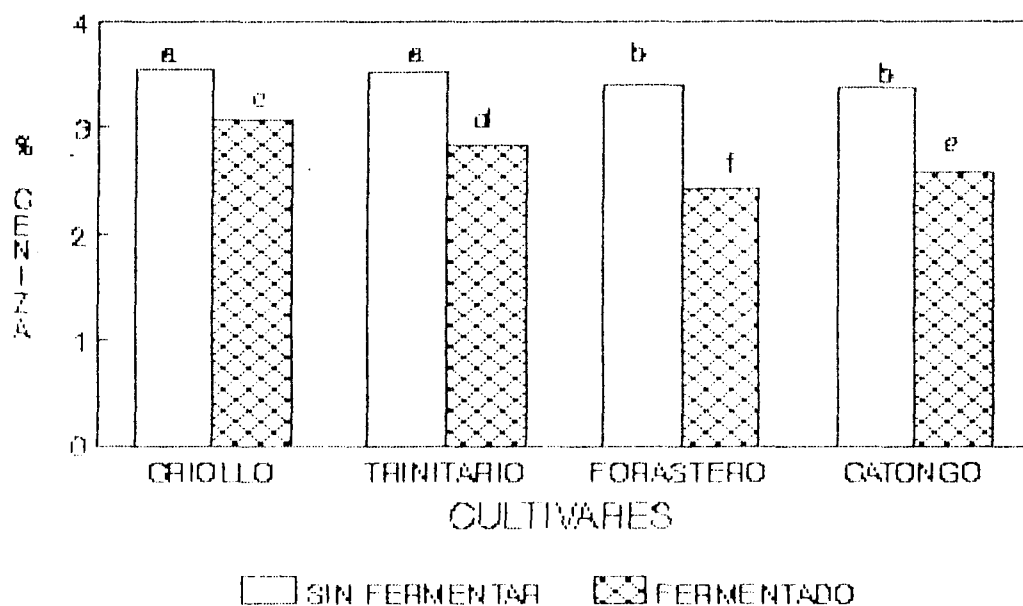
4.1.2. PORCENTAJE DE CENIZA.

Los genotipos fueron diferentes estadísticamente entre sí, con respecto al contenido de ceniza, (Cuadro 2), igualmente el material proveniente de cada una de las altitudes y el cacao fermentado y sin fermentar. Las tres interacciones de primer orden fueron significativas también, lo que indica que el genotipo afectó en forma diferente la fermentación, lo mismo que la altitud afectó el proceso y a los genotipos. Los tres casos se analizan a continuación.

4.1.2.1. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el contenido de ceniza.

El cacao fermentado presentó menor porcentaje de ceniza que aquel sin fermentar, para los cuatro genotipos

FIGURA 4. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de cenizas.



Datos tomados del Apéndice D.

analizados (Figura 4). La disminución se debió a que en el proceso de fermentación, cuando el embrión muere, las células pierden permeabilidad, lo que permite la difusión de sustancias. Entre estas sustancias se encuentran los minerales, los cuales se exudan hacia la testa transportados por el flujo de líquidos (López, Fajardo y Hufenussler, 1982). Alvarado, Villacís y Zamora (1983) informan una tendencia similar en su estudio. La importancia de la exudación de minerales radica en que es una medida indirecta de la muerte del embrión; no se ha encontrado que el contenido de minerales en el grano afecte en algún modo el sabor final del chocolate.

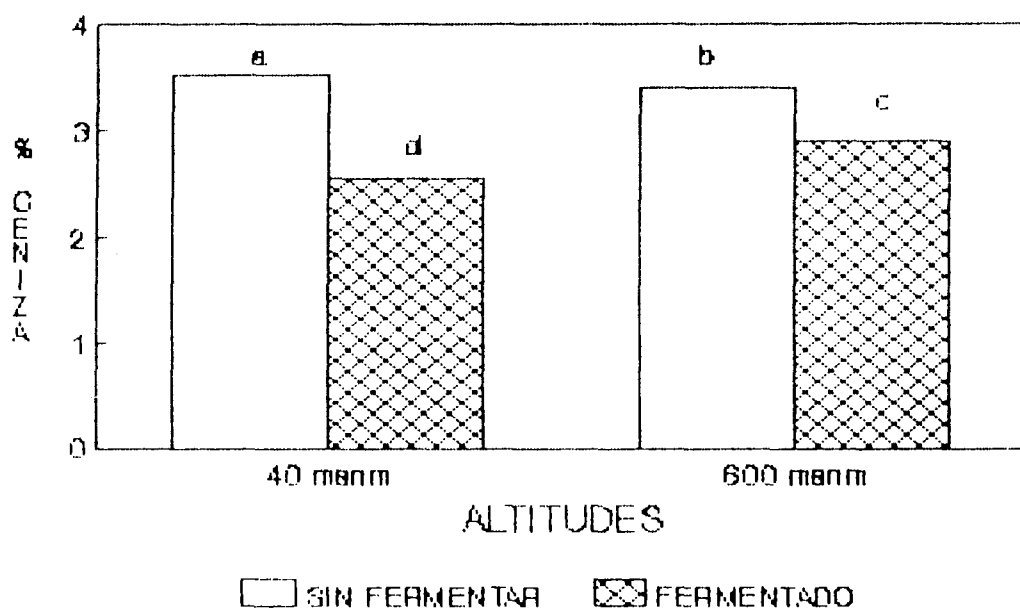
Los cacaos acriollados mostraron mayor cantidad de ceniza que los forasteros, ya sea que estuvieran o no fermentados. Después de la fermentación el genotipo que retuvo mayor cantidad de ceniza fue el Criollo y el que menos fue el Forastero (Figura 4). En general, los acriollados perdieron menos ceniza durante la fermentación que los forasteros (Apéndice CH y Figura 4). Es importante aclarar que no se cuenta con información previa al respecto con que comparar y discutir; aún así, se puede relacionar este comportamiento con las diferencias genéticas existentes entre ambos grupos. Berbert, señalado por Pardo (1988), concluyó que las variaciones entre cultivares son suficientes para afectar la velocidad e intensidad del

proceso fermentativo. Ordoñez mencionado por Pardo (1988) indicó que el patrón de comportamiento de la temperatura durante el proceso de fermentación es dependiente del cultivar; el autor dijo que la composición del cotiledón o de la pulpa podría influir en dicho comportamiento y en la fermentación. Cascante (1984) halló que la fase de fermentación alcohólica se estableció en las primeras cuarenta y ocho horas en el material Criollo mientras que en el Forastero tardó tres días, aunque los microorganismos fueron de la misma especie; por lo que al prolongarse más la fase anaeróbica (alcohólica) en una fermentación que en otra provoca que haya una mayor pérdida de material soluble (López, 1986), lo que explica que el Forastero perdió más cenizas que el Criollo. Aunque ningún autor se refiere específicamente al contenido de cenizas, se puede asumir que si los otros componentes se ven afectados de diferente forma de acuerdo al cultivar, también la ceniza se verá afectada por las diferencias entre genotipos. Por otro lado, si se recuerda que el material acriollado posee un grano de mayor peso que el de los forasteros se podría asumir que el tamaño de la almendra influye negativamente en la pérdida de material soluble, por lo que en almendras más grandes se pierde menos que en aquellas más pequeñas o lo que es lo mismo de menor peso.

4.1.2.2. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el contenido de ceniza.

En promedio, el cacao perteneciente a la altitud de 600 msnm (Turrialba) tuvo menor cantidad de ceniza que el de 40 msnm (La Lola), cuando estaba sin fermentar (Figura 5); sin embargo, después de fermentarse retuvo más ceniza el cacao de la zona baja. En el Apéndice CH, se encuentra que a 40 msnm se perdió más ceniza que a 600 msnm cuando se fermentó el cacao, excepto para el genotipo Forastero, lo que implica que el proceso de fermentación fue más lento en Turrialba. Este comportamiento es similar al señalado por Ramírez (1988) y Vargas (1988), quienes encontraron que en zonas localizadas a un altura de 600 msnm, las temperaturas de fermentación son más bajas que aquellas en zonas cercanas al nivel del mar, de manera que la fermentación demora más tiempo. Vargas (1988) apuntó que en zonas como Turrialba, la temperatura inicial es más baja por lo que tarda más tiempo en alcanzar la temperatura máxima de fermentación, la cual va a ser inferior a la alcanzada en zonas cercanas al nivel del mar y se va a mantener por menos tiempo, provocando que las fases del proceso no se desenvuelvan adecuadamente.

FIGURA 5. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el porcentaje de ceniza.



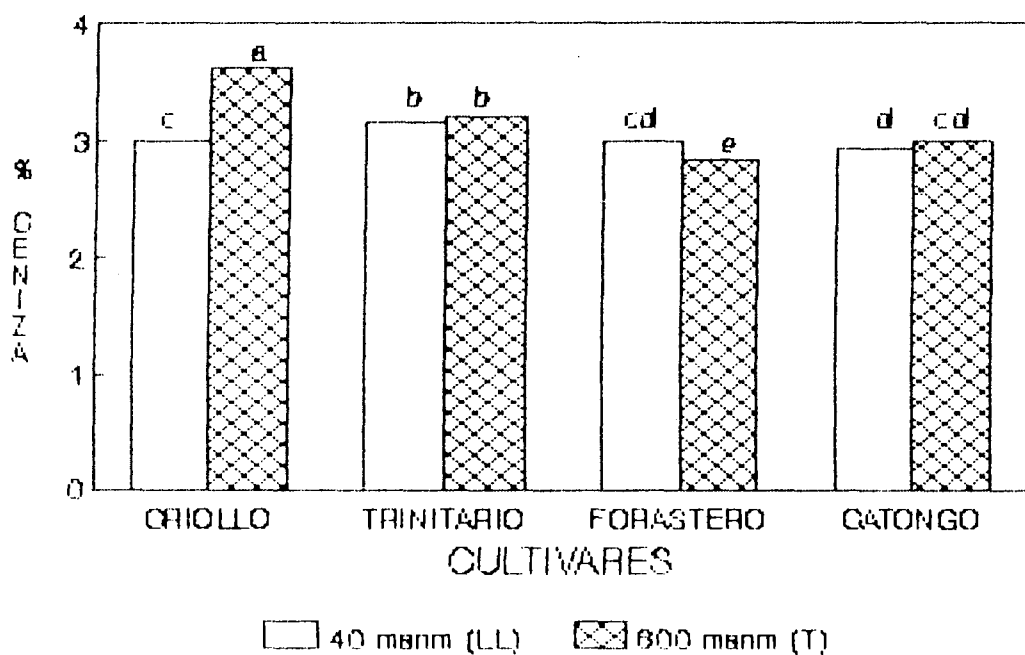
Datos tomados del Apéndice E.

4.1.2.3. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el contenido de ceniza.

Las mayores diferencias se encontraron en el cacao Criollo y el Forastero (Figura 6); el Criollo mostró mayor porcentaje de ceniza a 600 msnm (Turrialba) mientras que el Forastero a los 40 msnm (La Lola). Los otros dos cultivares no presentaron diferencias en el contenido de cenizas al estar sembrados y beneficiados en una u otra altitud. Los cuatro genotipos respondieron en forma diferente en cada altitud, por lo que parece que la diferencia que hay entre los suelos y los climas de ambas altitudes no afectó la cantidad de ceniza (Apéndice I).

En general, a 600 msnm (Turrialba) el mayor porcentaje de ceniza lo presentó el Criollo, le siguió el Trinitario, luego el Catongo y finalmente el Forastero, todos estadísticamente diferentes entre sí (Figura 6). A 40 msnm (La Lola) el mayor porcentaje de ceniza se encontró en el Trinitario, le siguió el Criollo, el Forastero y el Catongo, sin que hubieran diferencias entre el segundo y el tercero ni entre el tercero y el cuarto. Se puede decir que los cacaos acriollados mostraron más ceniza que los forasteros, como ya se mencionó en un apartado anterior. El cacao Criollo tiene una pulpa semejante en constituyentes al Trinitario, mientras que el Forastero y el Catongo la

FIGURA 6. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de cenizas



Datos tomados del Apéndice E.

presentan menos azucarada que los primeros (Mejía citado por Ramírez, 1988) por lo que se especula que la composición interna de las almendras también se asemejen entre el Criollo y el Trinitario y entre el Forastero y el Catongo.

4.1.3. ANALISIS DE pH Y ACIDEZ TOTAL (mL NaOH 0,1 M/g).

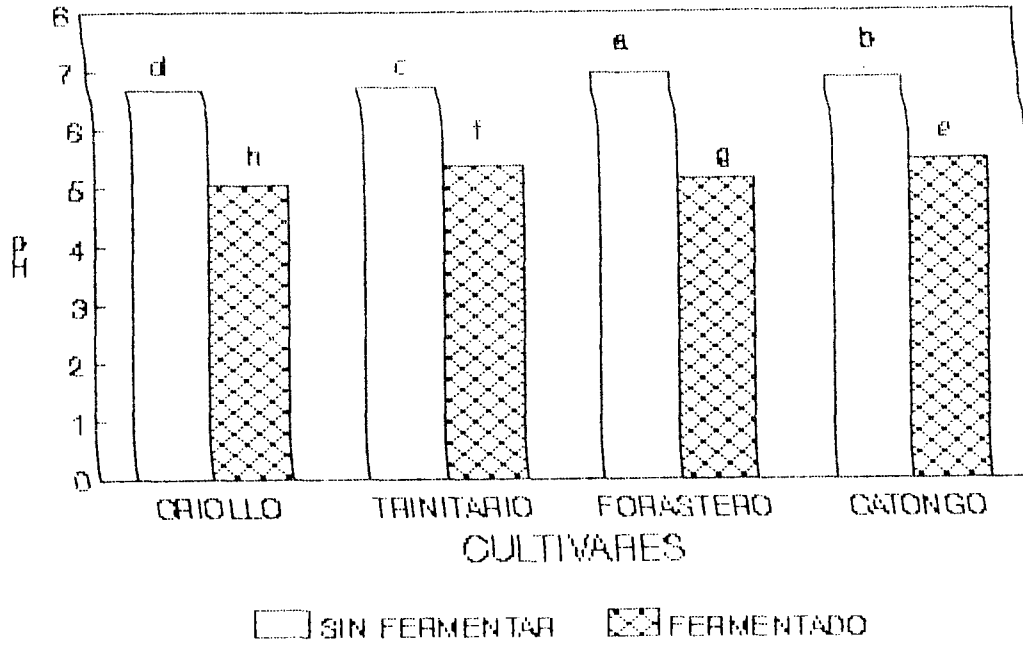
En el Cuadro 2 se observa que los genotipos, el cacao de cada altitud y el cacao fermentado y sin fermentar presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos, al igual que las tres interacciones de primer orden, de manera que no se pueden hacer generalizaciones, sino que hubo que analizar cada caso.

4.1.3.1. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el pH y la acidez total.

El cacao sin fermentar, de acuerdo con la Figura 7, mostró un pH más alto que el cacao fermentado, a la vez que una acidez total menor (Figura 8), en el caso de los cuatro genotipos.

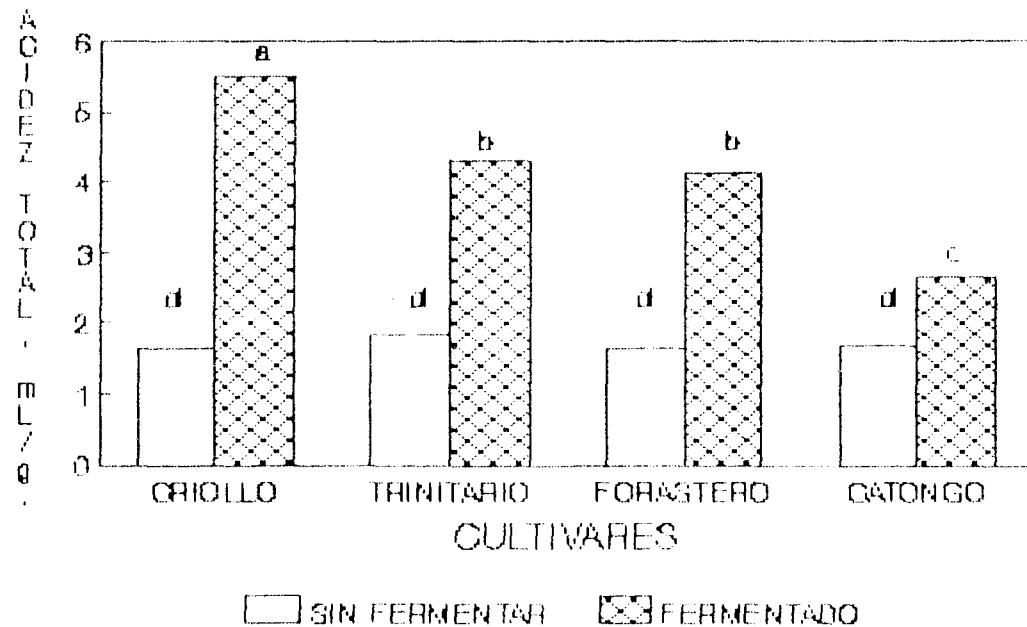
La penetración de ácido acético y otros ácidos orgánicos generados en la pulpa por la acción microbiana es la causante de este fenómeno (López, 1983; Weissberger, Kavanagh y Keeney, 1971); aunque no hay consenso en cuanto a

FIGURA 7. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el pH.



datos tomados del Apéndice E.

FIGURA 8. Efecto del genotipo sobre la fermentación en la acidez total, mL NaOH 0,1 M/g cacao



datos tomados del Apéndice D.

cuáles son los ácidos que realmente provocan la disminución de pH. Así, por ejemplo, Liau (1979) citado por Biehl (1987) encontró que el pH interno está directamente relacionado con la concentración de ácido acético en el grano y no con el ácido láctico. El mencionó que el ácido acético penetra las membranas de las células vivas y contribuye a la muerte de las semillas. Por otro lado, López (1983) indicó que el cacao fermentado tiene más ácido láctico y menos cítrico que el cacao sin fermentar.

Los genotipos acriollados sin fermentar presentaron un pH más bajo que los forasteros (Figura 7); sin embargo, la acidez total fue muy semejante entre ellos (Figura 8). Estas muestras estaban sin tratamiento, lo que indicó que el cacao se encontraba como se recogió del árbol, no sufrió grandes cambios, por lo que debe tenerse en cuenta esta observación para analizar los cambios que ocurrieron después de la fermentación. Las diferencias encontradas únicamente se sumarán a las ya expuestas por Mejía (1988) citado por Ramírez (1988) quien dijo que los acriollados poseen pulpas más azucaradas que los forasteros y Dittmar citado por Pardo (1988) también indicó que el Catongo posee una pulpa menos ácida que los otros cultivares, por lo que se puede esperar que los acriollados sin fermentar sean más ácidos.

Una vez que se fermentan los cacaos, el Criollo fue el

que mostró el pH más bajo y la acidez más alta, le siguió el Forastero, el Trinitario y el Catongo, aunque en acidez no hubo diferencias estadísticas significativas entre Trinitario y Forastero (Figuras 7 y 8). El Forastero fue el que sufrió mayor reducción de pH, le siguió el Criollo, luego el Trinitario y finalmente el Catongo; aunque la acidez total aumentó más en los acriollados que en los forasteros (Apéndice CH). Las diferencias tan pequeñas encontradas en las tendencias entre el pH y la acidez total se deben a los tipos de ácidos orgánicos que se generan durante la fermentación, los cuales tienen diferentes constantes de acidez, y a algún efecto buffer que se sabe que existe en los cotiledones de cacao que provocó que el pH no disminuya a pesar de que ingresó ácido (Biehl, 1987).

El cacao Forastero mostró la semilla más pequeña, lo cual puede provocar que sea en éste al que porcentualmente ingrese más ácido, al tener mayor superficie de exposición con respecto a su volumen, como lo señala Pardo (1988), aunque en su pulpa la concentración sea menor en comparación con los otros genotipos acriollados; sin embargo, al ser uno de los genotipos que posee más grasa ese ingreso de ácido se verá reducido. Ramírez (1980) citado por Pardo (1988) sugiere que un porcentaje alto de grasa puede obstaculizar la rápida difusión del ácido acético. El Criollo y el Trinitario poseen menos grasa que los forasteros y una pulpa

más azucarada por lo que es de esperarse que haya mayor generación de ácido y mayor ingreso de éste al grano.

Las diferencias entre genotipos, en relación al pH y la acidez total, pueden estar gobernadas por las diferencias en la composición de sus pulpas y por el comportamiento durante el proceso. La composición de la pulpa varía con el genotipo (Mejía, 1960); por lo que el Criollo y el Trinitario al tener pulpas más azucaradas generan mayor cantidad de ácido que el Forastero o el Catongo, siendo este último el que menos acidez produce por ser el que tiene la pulpa menos azucarada (Dittmar citado por Pardo, 1988). Además Cascante (1984) indicó que el cultivar Criollo alcanza primero la fase alcohólica, y por consiguiente la oxidación del alcohol a ácido acético, de manera que en este cacao se genera mayor cantidad de ácido al iniciarse antes la formación de etanol. Además tomando en cuenta que el Criollo inició el proceso de fermentación con un pH más bajo que los otros, se podría asumir que si en estos cuatro genotipos se produce una cantidad semejante de ácido los que tenían pH más bajo y la acidez más alta seguirán teniéndolo.

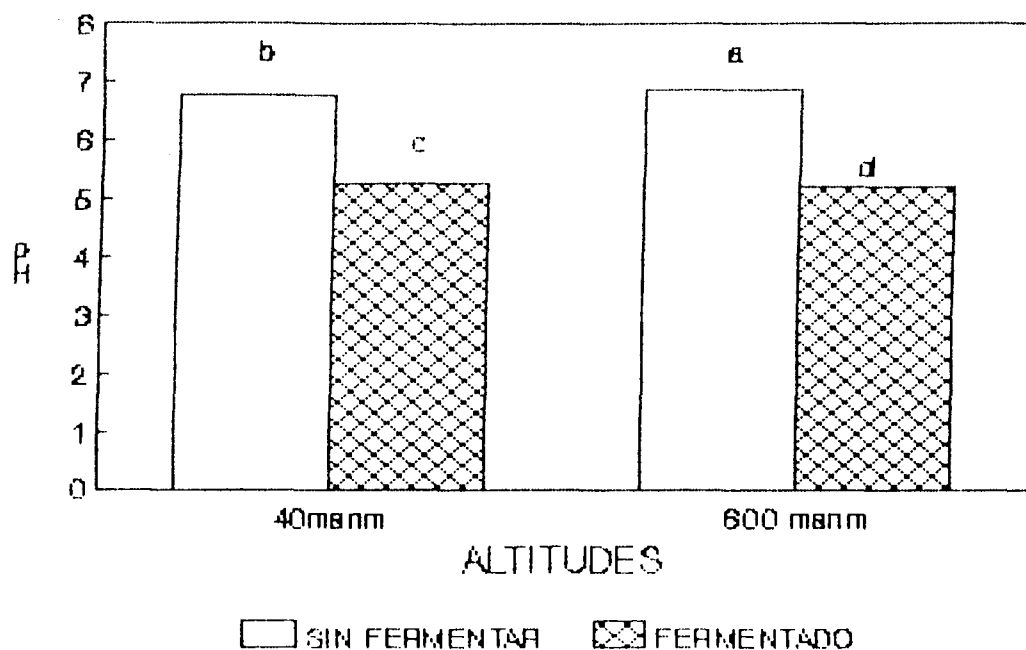
Barel (1987) señaló que la acidez total se encontró entre 3,07 y 3,56 mL NaOH 0,1M por gramo de cacao al cabo de cinco días de fermentación, valores que fueron sobrepasados por las muestras de los genotipos Criollo, Trinitario y

Forastero (Figura 8). En cuanto a pH se indicó que debe encontrarse entre 5,1 y 5,4 después de secado (Saposhnikova, 1952; Howal, Powell y Wood, 1957 citados por Pardo, 1988); los cuatro genotipos presentaron valores en este ámbito. Según López y Passos (1984) el pH en sus extremos de 4,7 y 5,8 puede correlacionarse con acidez organoléptica, pero dentro de este estrecho ámbito, es posible tener un pH aceptable pero un sabor ácido excesivo y viceversa.

4.1.3.2. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el pH y acidez total.

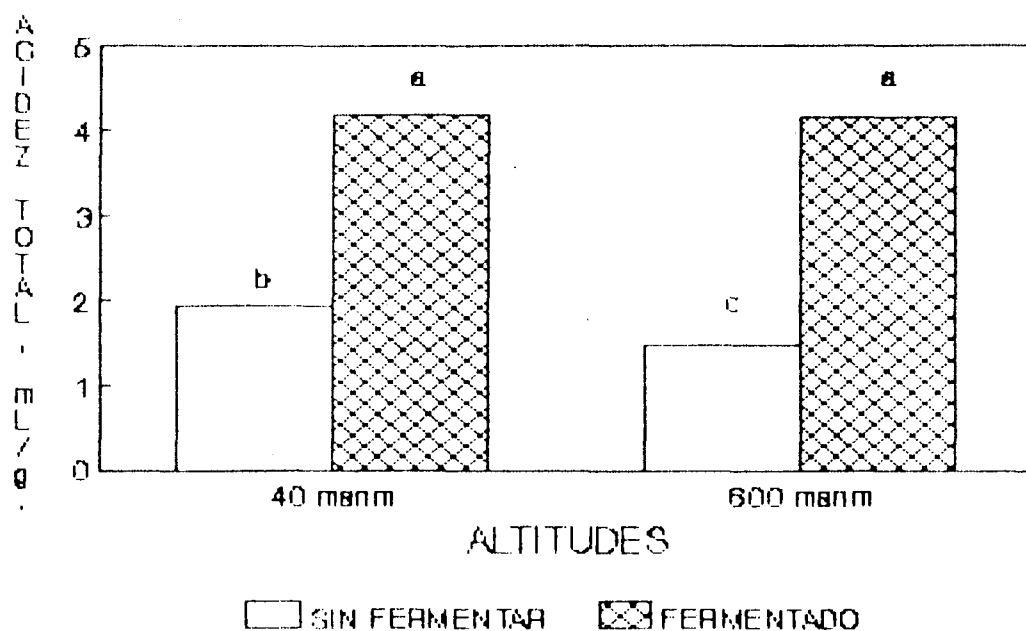
El cacao a los 600 msnm, sin fermentar, tuvo un pH más alto y una acidez total menor que a 40 msnm (Figuras 9 y 10). Después de la fermentación el pH más alto se encontró en esta última altitud (La Lola), aunque no se presentaron diferencias estadísticas significativas en acidez total; implicó que las diferencias más marcadas entre el cacao fermentado y sin fermentar se presentaron a los 600 msnm (Turrialba), lo cual se observa en el Apéndice CH, en Turrialba los cuatro genotipos estudiados disminuyeron su pH en mayor magnitud y aumentaron la acidez más que en La Lola (40 msnm), al ocurrir la fermentación. Esta disminución pudo ser consecuencia de la temperatura de fermentación alcanzada durante el proceso, como se explica más adelante.

FIGURA 9. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el pH.



Datos tomados del Apéndice E.

FIGURA 10. Efecto de la altitud sobre la fermentación en la acidez total, mL NaOH 0,1M/g cacao.



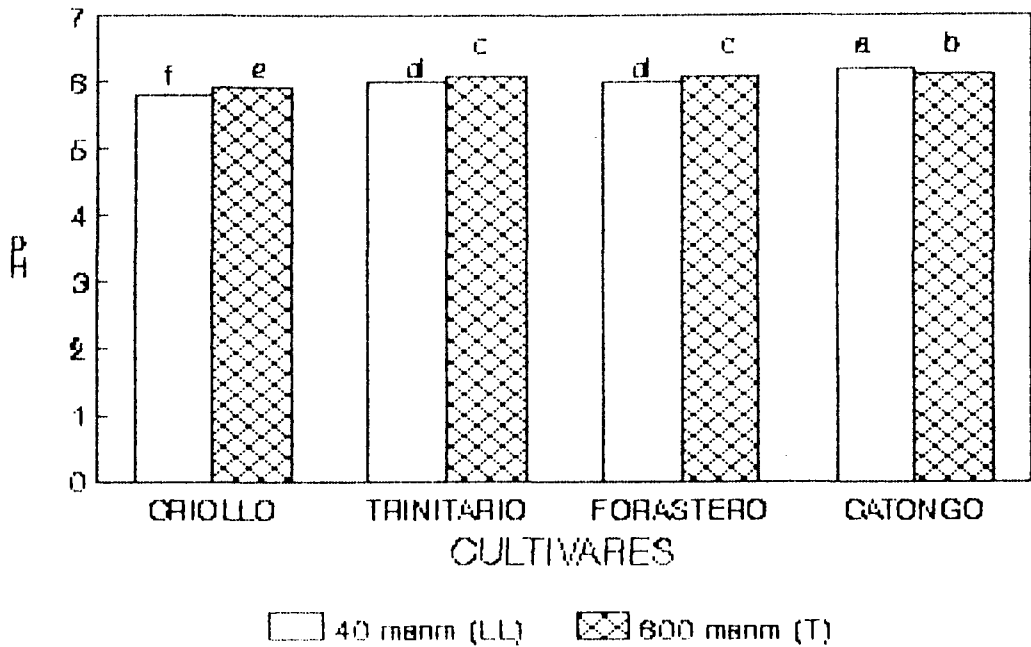
Datos tomados del Apéndice E.

Vargas (1988) y Ramírez (1988) informaron que la masa de cacao de Turrialba alcanzó una temperatura menor durante la fermentación que la proveniente de una finca localizada a una altura semejante a La Lola, como consecuencia de la temperatura ambiente más baja que influye en el inicio de la reacción de oxidación (Ramírez, 1988). La temperatura de fermentación más alta, que se encontró en estas investigaciones, a 40 msnm (La Lola) se debe a una mayor oxidación de etanol a ácido acético con el correspondiente aumento de concentración de ácido en la pulpa circundante; sin embargo, se presenta mayor evaporación de ácido acético al medio y oxidación de éste a dióxido de carbono y agua, a causa de esta mayor temperatura, lo cual provoca que a 40 msnm hubiera menor ingreso de ácido al cotiledón.

4.1.3.3. Efecto de altitud sobre el genotipo en el pH y la acidez total.

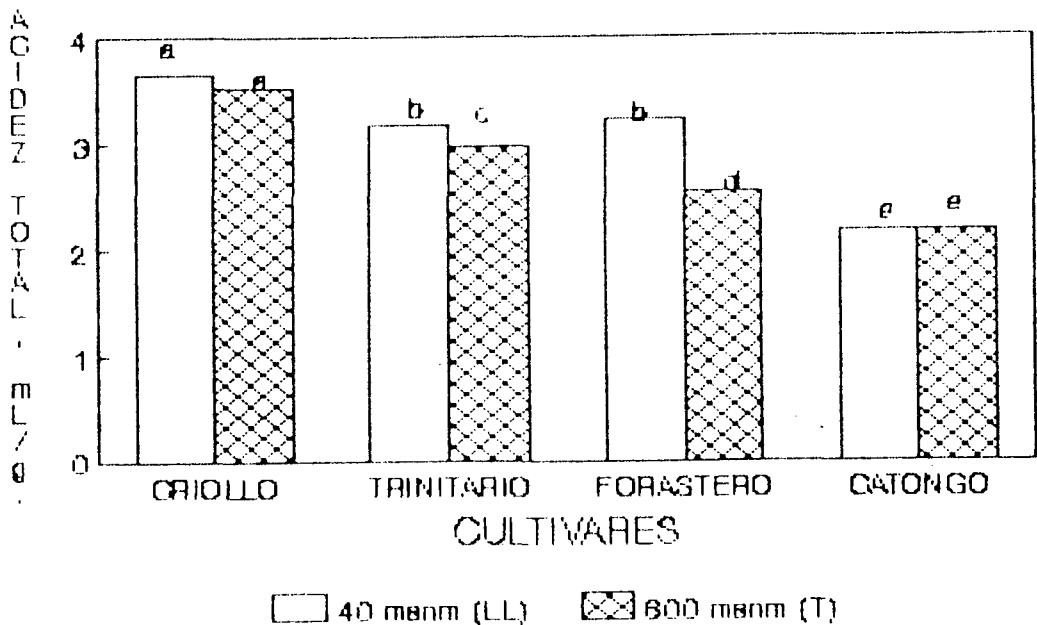
A los 600 msnm se presentó el cacao con pH más alto y por ende menor acidez total para tres de los genotipos estudiados (Figuras 11 y 12), únicamente para el Catongo el pH más alto se encontró a los 40 msnm y la acidez total no mostró diferencias estadísticas significativas en una u otra altitud. Hay que tener en cuenta que el suelo de Turrialba es diferente al de La Lola (Apéndice I), sumado a que los factores climáticos de ambas localidades son diferentes

FIGURA 11. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el pH.



Datos tomados del Apéndice F.

FIGURA 12. Efecto de la altitud sobre el genotipo en la acidez total, mL NaOH 0,1N/g cacao



Datos tomados del Apéndice F.

también (IICA, 1963 y Díaz, 1989). Por lo anterior se hace difícil saber si las diferencias encontradas se deben al suelo, al clima o a la altitud.

El cultivar Catongo fue el que tuvo el pH más alto y la acidez más baja con respecto a los otros genotipos, y el Criollo fue el de pH más bajo y la acidez mayor, en ambas altitudes estudiados (40 y 600 msnm). Además tanto en La Lola como en Turrialba los genotipos Forastero y Trinitario presentaron un pH semejante (Figura 11), aunque la acidez fue mayor en el Trinitario (Figura 12). La razón de controlar la acidez excesiva es que se considera un defecto serio en la industria chocolatera, el cual debería presentarse en menor grado en los cacaos acriollados, pues son clasificados como finos, mientras que el Forastero y el Catongo se clasifican como comunes (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984). Sin embargo, en este estudio no fue así, y el genotipo Criollo fue el más ácido, lo cual no implica que presente acidez excesiva. Al comparar los valores de acidez con los valores encontrados por Barel (1987) entre 3,07 y 3,56 mL de NaOH 0,1M por gramo de cacao al cabo de cinco días de fermentación, tres de los genotipos, a excepción del Catongo, alcanzaron esa acidez y no la sobrepasaron, no presentando problemas por acidez excesiva en ninguna muestra.

En estas figuras también se repite la observación hecha en las Figuras 7 y 8, donde el Criollo presenta mayor acidez que los forasteros (Forastero y Catongo).

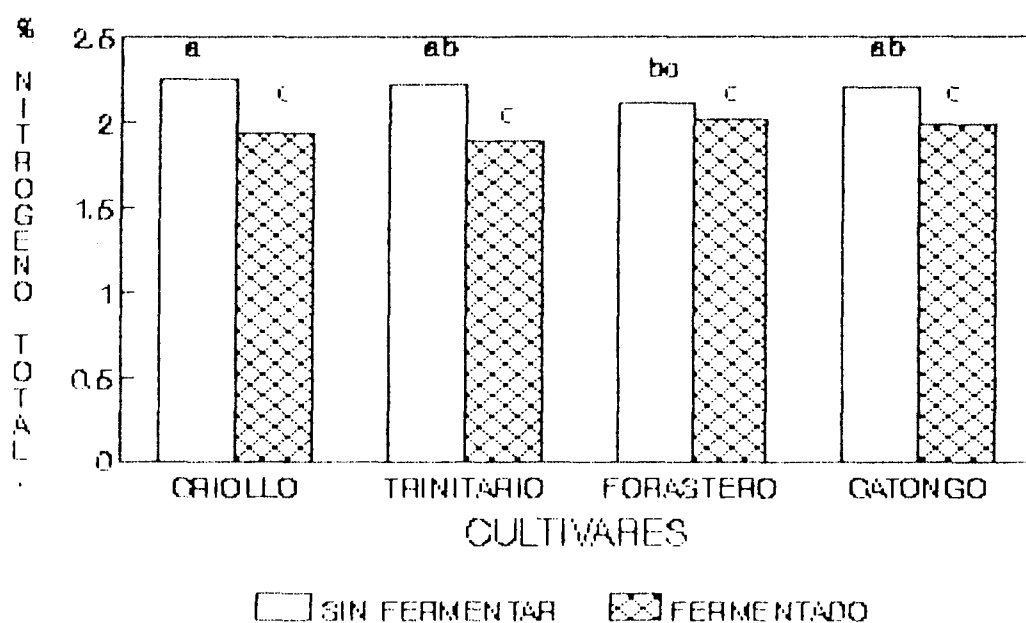
4.1.4. PORCENTAJE DE NITROGENO TOTAL.

Los genotipos no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos (Cuadro 2), mientras que los cacaos de las altitudes y el cacao fermentado y sin fermentar sí lo hicieron. También hubo diferencias estadísticas para las interacciones de primer orden genotipo por altitud y altitud por fermentación, como se ve a continuación.

4.1.4.1. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de nitrógeno total.

El cacao fermentado contenía menor porcentaje de nitrógeno total que el cacao sin fermentar, para los cuatro genotipos estudiados (Figura 13). Esta pérdida puede deberse a la formación de complejos tanino-proteína o a hidrólisis de la proteína a compuestos solubles tales como aminoácidos y péptidos, los cuales se pierden por exudación a través de la testa (López, 1986; DeWitt, 1956; Barel, Guyot, y Vincent, 1983). Biehl y Passern (1982) mostraron que se exuda un 20% del nitrógeno y 40% de teobromina

FIGURA 13. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de nitrógeno total.



Datos tomados del Apéndice D.

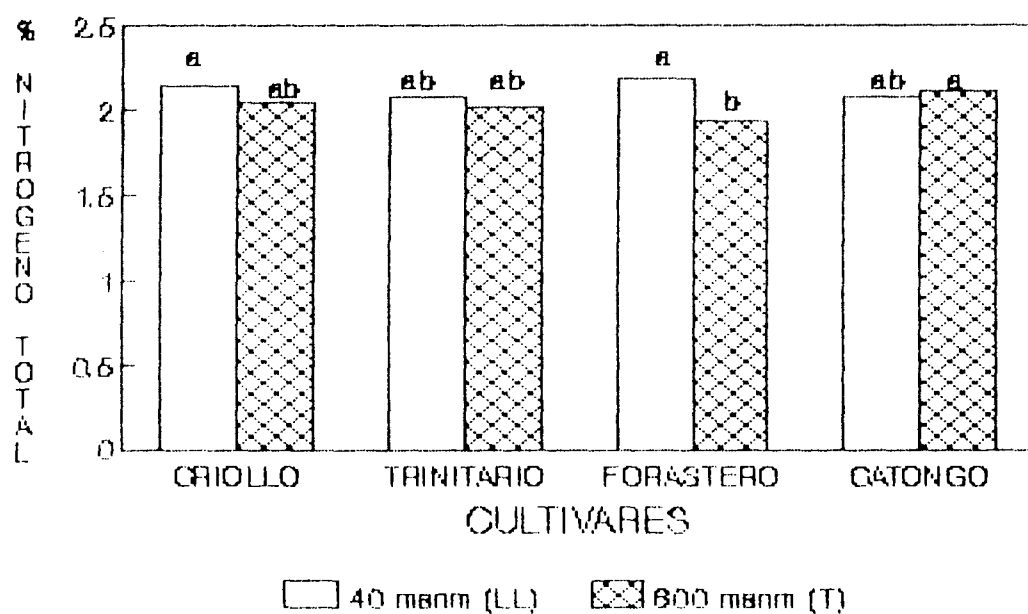
durante la fermentación; Zak y Keeney (1976) encontraron un decrecimiento lineal en la proteína extraíble durante la fermentación.

4.1.4.2. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de nitrógeno total.

El cultivar Forastero presentó menor porcentaje de nitrógeno total a los 600 msnm (Figura 14), mientras que en los otros tres genotipos la diferencia existente entre las altitudes no es significativa estadísticamente y se puede considerar que no hay variación. Al comparar los genotipos, únicamente el cacao Forastero a 600 msnm fue diferente estadísticamente con respecto a los otros tres genotipos, mientras que a 40 msnm no hubo diferencias estadísticas significativas entre los cuatro cultivares. Realmente el único cacao diferente de todos los evaluados fue el Forastero de Turrialba, lo cual puede indicar que esta muestra tuvo un comportamiento diferente, sobre todo durante la fermentación que es lo que altera su composición.

Pardo (1988) señala que hay diferencias entre cultivares e indica que el Catongo posee un contenido de proteína más alto que la mayoría de los cultivares evaluados, lo cual no se ajusta a lo observado en este estudio.

FIGURA 14. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de nitrógeno total.



Datos tomados del Apéndice F.

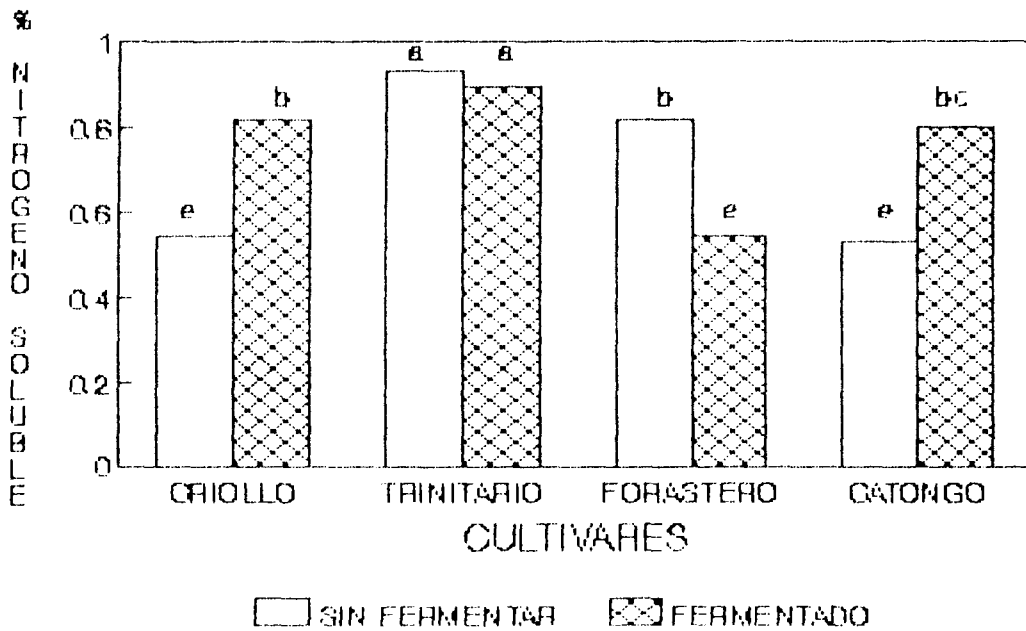
4.1.5. PORCENTAJE DE NITROGENO SOLUBLE.

Se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los cuatro genotipos, el cacao de ambas altitudes y el cacao fermentado y sin fermentar (Cuadro 2). Las interacciones simples son significativas con una probabilidad menor al 0,01%, por lo que se analizan a continuación.

4.1.5.1. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el contenido de nitrógeno soluble.

El cacao fermentado mostró mayor cantidad de nitrógeno soluble que el cacao sin fermentar para los genotipos Criollo y Catongo, mientras que el Trinitario no presentó diferencias estadísticas significativas para el tratamiento y el Forastero sin fermentar contenía más nitrógeno soluble que el fermentado (Figura 15). Lo que se esperaba es que hubiera un aumento del nitrógeno soluble, como consecuencia de la permeabilización de las paredes de las células después de que muere el embrión, permitiendo que se pongan en contacto las proteasas y las proteínas, las cuales son hidrolizadas a aminoácidos y péptidos (DeWitt, 1956; López, 1986; Rohan, 1964). Los productos de degradación se pierden por difusión, pero el desdoblamiento de las proteínas es más rápido que la velocidad de difusión, de lo

FIGURA 15. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de nitrógeno soluble



Datos tomados del Apéndice D

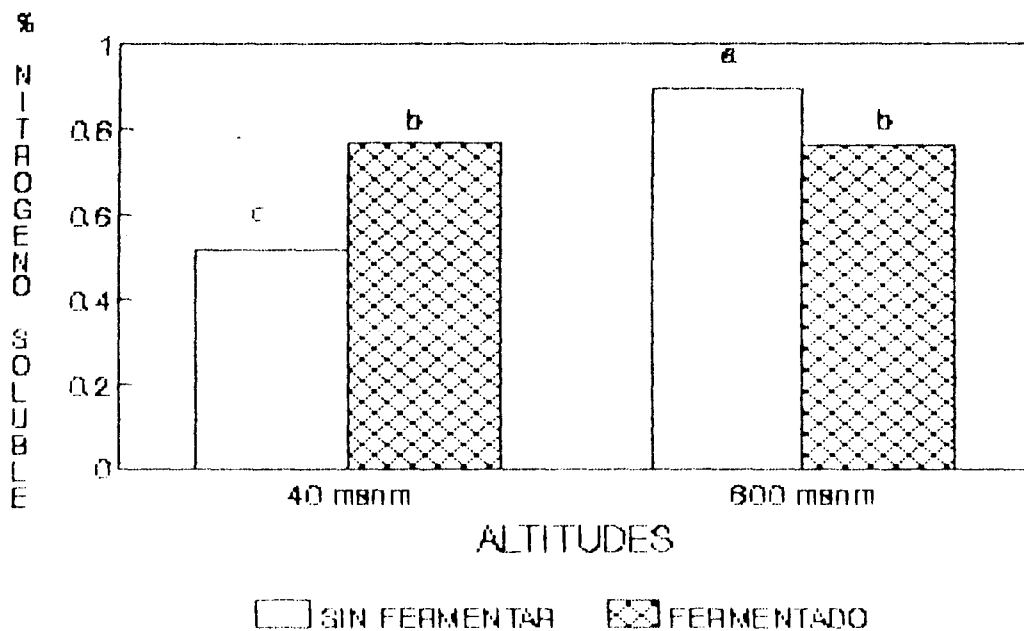
que resulta la formación de compuestos nitrogenados solubles (Rohan, 1964).

El comportamiento anormal de los genotipos Forastero y Trinitario pudo deberse al contenido inicial (sin fermentar) de nitrógeno soluble que mostró estos dos genotipos, el cual como se observa en la Figura 15, fue mayor para el cacao sin fermentar comparándolo con el de los cacaos Criollo y Catongo fermentados, los cuales ya sufrieron un aumento del material soluble. Parece ser que el hecho de que exista una cierta cantidad de nitrógeno soluble antes de iniciar la fermentación, favorece más bien la difusión del componente y no la acumulación a partir de la hidrólisis de la proteína, prueba de ello es que el Trinitario es uno de los cultivares que más nitrógeno total perdió durante la fermentación (Apéndice I).

4.1.5.2. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el contenido de nitrógeno soluble.

El cacao fermentado a 40 msnm (La Lola) contenía mayor cantidad de nitrógeno soluble que el cacao sin fermentar (Figura 16), mientras que el cacao a 600 msnm presentó el comportamiento opuesto. El cacao debe sufrir un aumento de nitrógeno soluble durante el proceso de beneficiado, como ya se explicó en el apartado anterior; para explicar el

FIGURA 16. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el porcentaje de nitrógeno soluble.



Datos tomados del Apéndice E.

comportamiento contrario en Turrialba (600 msnm) se requiere la información del Apéndice CH, donde se observa que los genotipos Forastero y Trinitario recolectados a los 600 msnm no aumentaron su porcentaje de nitrógeno soluble sino que disminuyeron; ya que los valores correspondientes a las altitudes son promedios hechos con los resultados de los cuatro genotipos, el comportamiento contrario de los genotipos Trinitario y Forastero alteran el promedio para la altitud de 600 msnm. Por lo que la explicación al fenómeno ocurrido en estos genotipos dada en el apartado anterior es válida para este comportamiento no esperado en Turrialba.

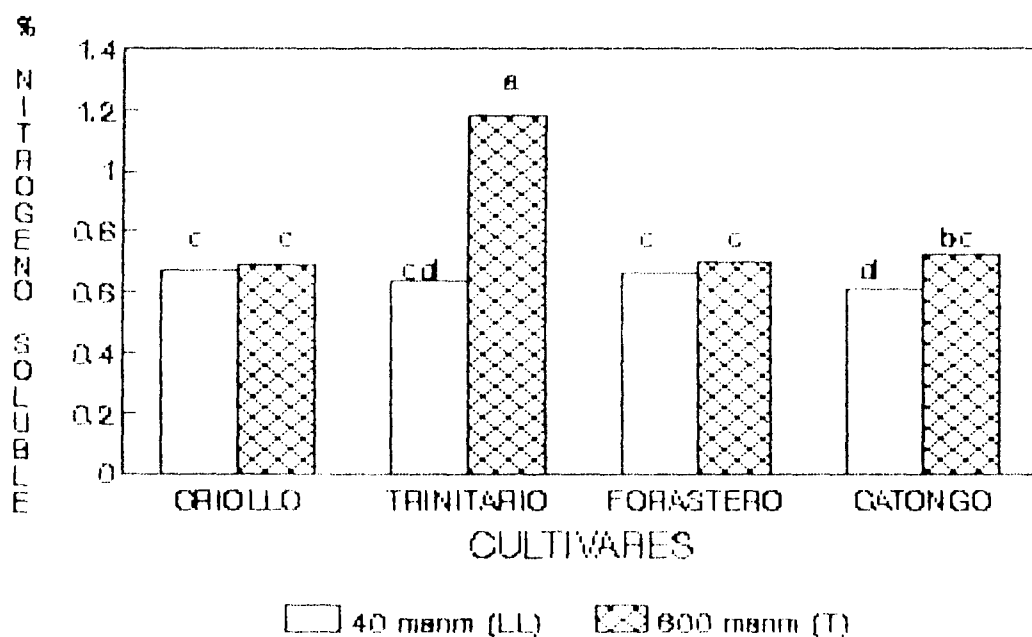
En el Apéndice CH se encuentra que a 40 msnm (La Lola) el cacao perdió más nitrógeno soluble al fermentarse que a 600 msnm (Turrialba). Este comportamiento fue el esperado, pues como ya se mencionó, zonas que se encuentran a una altitud cercana al nivel del mar alcanzan en forma más temprana la temperatura máxima de fermentación, la cual es más alta y se mantiene por más tiempo que en altitudes de 600 msnm (Vargas, 1988), con lo que se favorece una fermentación más rápida y efectiva, produciéndose antes la hidrólisis de la proteína, las reacciones con polifenoles y las exudaciones.

4.1.5.3. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el contenido de nitrógeno soluble.

El cacao a los 600 msnm mostró mayor porcentaje de nitrógeno soluble para los genotipos Trinitario y Catongo; los otros dos cultivares no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ambas altitudes (Figura 17). No se puede dar una explicación satisfactoria a este comportamiento; puede deberse al azar que provocó que el Trinitario de Turrialba y el Catongo de La Lola presentaran un porcentaje de material soluble diferente a los otros cultivares en las diferentes altitudes.

El cacao Trinitario a los 600 msnm fue el que mayor cantidad de este componente tuvo, y el Catongo a los 40 msnm fue el que menos presentó, los otros genotipos no mostraron diferencias estadísticas significativas entre ellos (Figura 17). En el capítulo anterior se mencionó que el nitrógeno total no fue diferente entre los cuatro cultivares en ambas altitudes, por lo cual podría esperarse que lo mismo ocurriera con el nitrógeno soluble. No obstante, el material soluble es independiente de la cantidad de nitrógeno total, ya que el primero es parte del segundo análisis. Debe haber alguna razón de absorción de nutrientes de la planta, de humedad u otra que influyó para que se presentará más o menos porcentaje de nitrógeno

FIGURA 17. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de nitrógeno soluble.



Datos tomados del Apéndice F.

soluble en estas muestras.

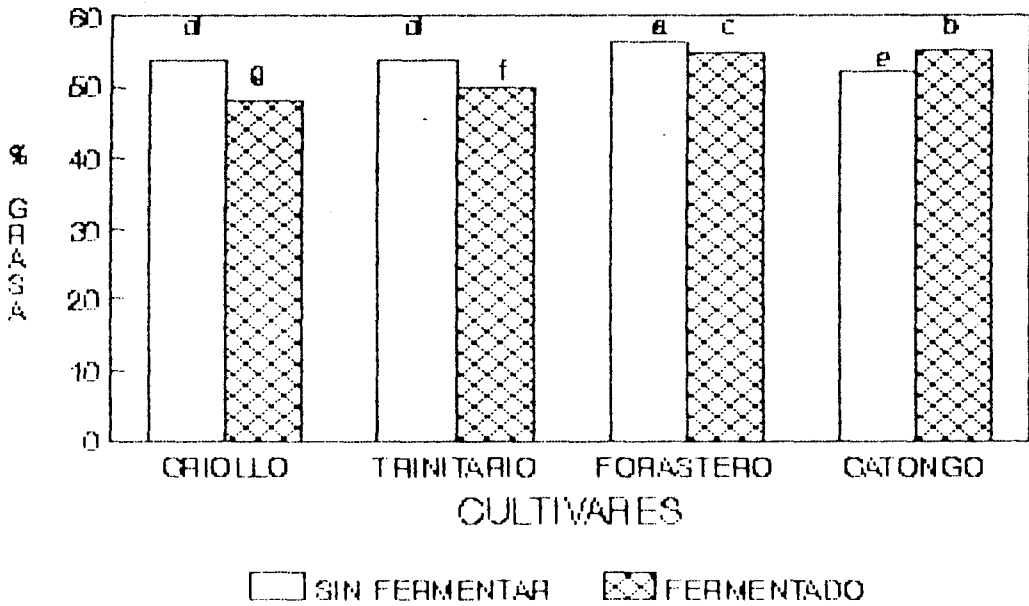
4.1.6. PORCENTAJE DE GRASA.

En el Cuadro 2 se observa que los genotipos mostraron diferencias estadísticas significativas entre ellos, lo mismo que el cacao de cada una de las altitudes y el cacao fermentado y sin fermentar. Dos de las interacciones simples fueron significativas al 0,01%, mientras que el efecto de la altitud sobre la fermentación no fue importante estadísticamente.

4.1.6.1. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el contenido de grasa.

El cacao sin fermentar contenía mayor porcentaje de grasa que el cacao fermentado (Figura 18), para tres genotipos; solamente el cacao Catongo fermentado poseía mayor cantidad de grasa que el cacao sin fermentar. El grano perdió grasa durante la fermentación, pues tan pronto como el embrión muere, las vacuolas de lípidos se funden y forman una fase continua (Biehl, Passern y Passern, 1977), que junto con el aumento en la concentración de ácido acético, el cual es soluble en grasa (Biehl, 1987; Biehl, *et al.*, 1985), y el punto de fusión bajo de la manteca de cacao, 30-36 °C (Powell, 1982), favorecen la difusión de la grasa

FIGURA 18. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de grasa.



Datos tomados del Anéndice D.

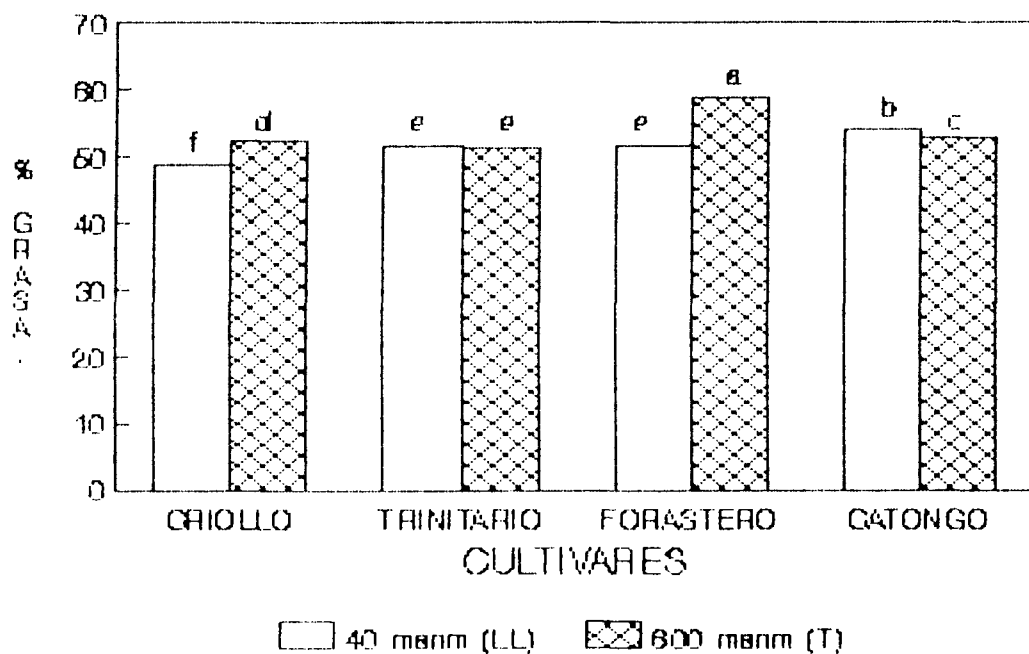
hacia la testa, que es de donde proviene el calor y el ácido acético. Sin embargo, Rohan (1964), Bracco et al. (1969) y Alvarado, Villacés y Zamora (1983) indicaron un aumento en la cantidad de grasa al fermentarse el cacao. Estos últimos explicaron que el aumento es debido a que los glóbulos de grasa no se difunden rápidamente durante los primeros días de fermentación a diferencia de los otros componentes, de ahí que la cantidad absoluta de grasa fue constante pero el grano perdió otros componentes, lo que aumenta su porcentaje de grasa. Estos estudios fueron hechos con cacaos forasteros por lo que pueden explicar porque solo el Catongo, un cacao de tipo forastero, aumentó su contenido de grasa.

Se podría pensar que la disminución de grasa durante la fermentación es un aspecto negativo del proceso; sin embargo, si se observa la Figura 18 se encuentra que tres de los genotipos fermentados poseen más del 50% de grasa, lo cual según el Informe del Grupo de Trabajo de la FAO (Vivas, 1978), es el valor mínimo aceptado. Por lo que a pesar de que hay disminución de grasa, los valores permanecen aceptables.

4.1.6.2. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el contenido de grasa.

En la Figura 19 se observa que los genotipos Criollo y

FIGURA 18. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de grasa.



Datos tomados del Apéndice F.

Forastero contenían mayor cantidad de grasa a 600 msnm (Turrialba) que a 40 msnm (La Lola), mientras que el Catongo poseía más en esta última altitud y el Trinitario no mostró diferencias estadísticas significativas. Además a una altitud de 40 msnm el cacao perdió una cantidad ligeramente mayor de grasa durante la fermentación que a 600 msnm (Apéndice CH). Se ha indicado que en zonas altas la grasa posee un punto de fusión más alto que aquella de zonas bajas (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984); sin embargo, en cuanto a la cantidad de grasa no se ha encontrado información. El material proveniente de los 40 msnm (La Lola) perdió un poco más de grasa que el de los 600 msnm (Turrialba) probablemente porque en este último lugar las temperaturas de fermentación son un poco más bajas, se mantienen por menos tiempo (Vargas, 1988) y la grasa funde a una temperatura un tanto menor que a los 600 msnm, como ya se indicó (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984), provocando que la grasa se liquifica más rápidamente a altitudes cercanas al nivel del mar lo que favorece una migración más rápida hacia la testa, cuando se permeabilizan las células.

Se encontró que los forasteros tenían mayor porcentaje de grasa que los acriollados, sin importar el sitio donde se cultive y beneficie; lo cual fue también expresado por Wood (1980), quien indica que el cacao Forastero tiene un

porcentaje de grasa entre 55 y 60 % mientras que el Criollo tiene menos grasa, aproximadamente 53%, lo cual se ajustó a lo observado. También Timbie y Keeney (1980) citados por Pardo (1988) indicaron que los forasteros contenían más grasa que los acriollados.

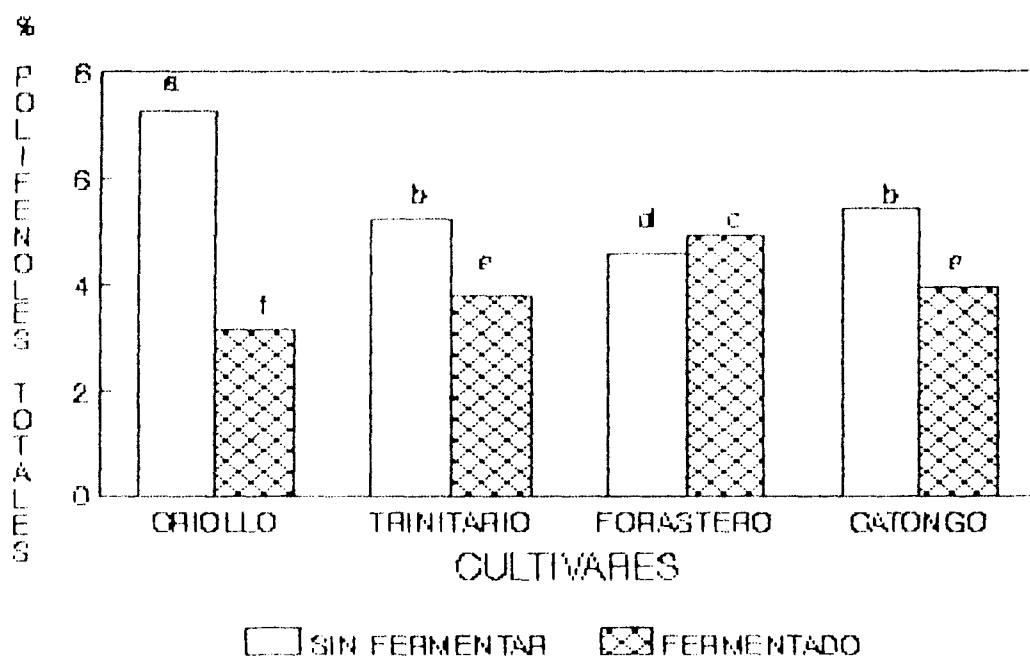
4.1.7. PORCENTAJE DE POLIFENOLES TOTALES, TANINOS Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS.

En el Cuadro 2 se observa que, para estos tres análisis, los genotipos, el cacao proveniente de cada altitud y el cacao fermentado y sin fermentar fueron diferentes estadísticamente entre ellos. Además las tres interacciones simples también fueron significativas, por lo que seguidamente se analizan.

4.1.7.1. Efecto del genotipo sobre la fermentación en los contenidos de polifenoles totales, taninos y antocianinas.

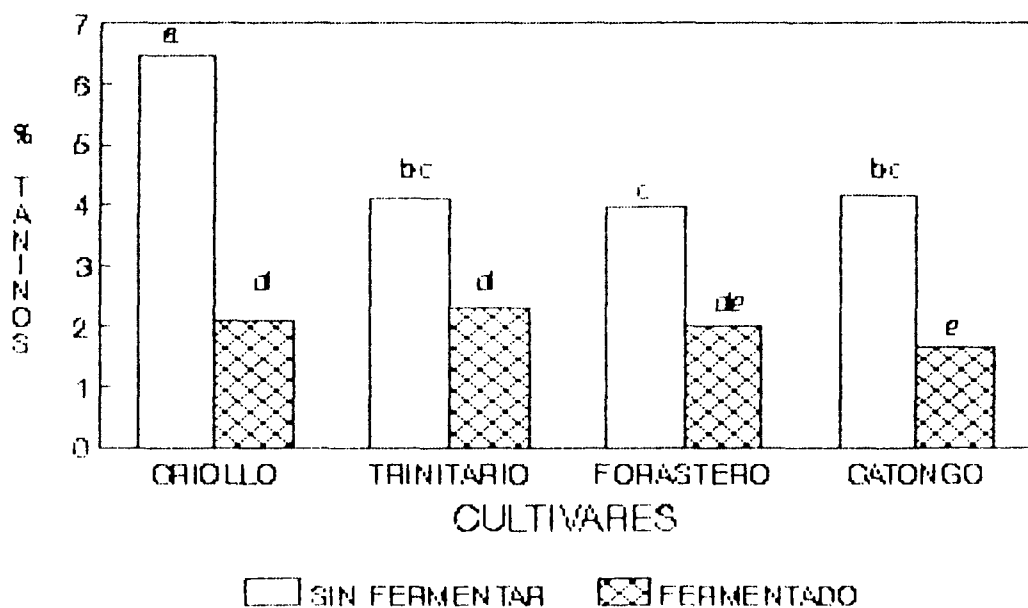
El cacao fermentado presentó menor porcentaje de polifenoles totales que el cacao sin fermentar, en tres de los genotipos; el Forastero fue el único que presentó el comportamiento invertido (Figura 20), mientras que los cuatro materiales genéticos mostraron una disminución del porcentaje de taninos (Figura 21) y el contenido de antocianinas (Figura 22) al sufrir fermentación. Hubo

FIGURA 20. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de polifenoles totales



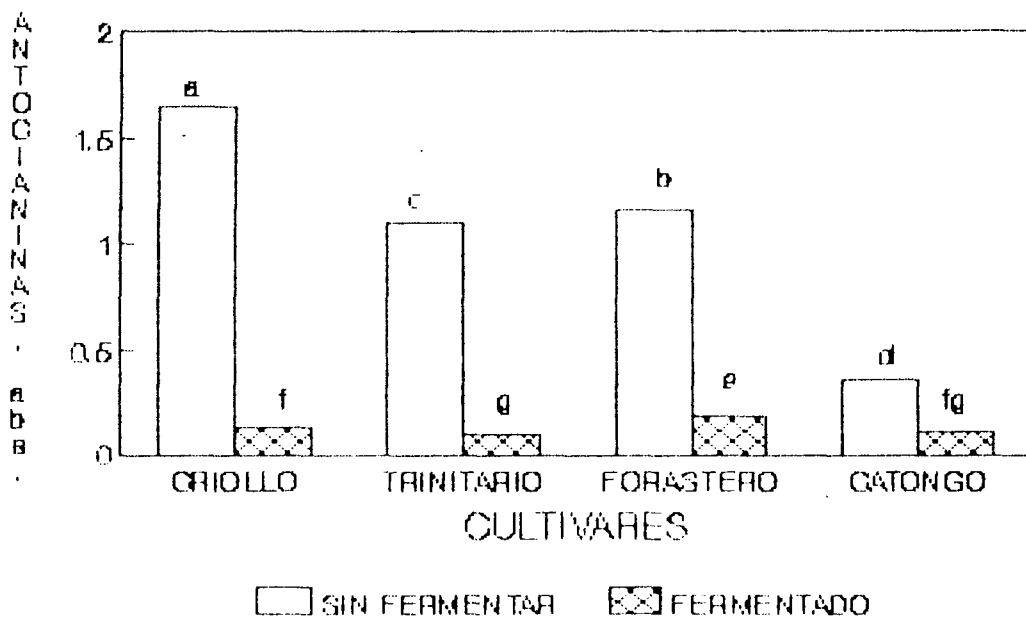
Datos tomados del Apéndice D.

FIGURA 21 Efecto del genotipo sobre la fermentación en el porcentaje de taninos condensables



Datos tomados del Apéndice D.

FIGURA 22. Efecto del genotipo sobre la fermentación en el contenido de antocianinas, absorbancias.



Datos tomados del Apéndice D.

disminución de polifenoles debido a varios factores: ocurre hidrólisis de antocianinas y a la vez polimerización de monómeros y oligómeros de flavonoles en compuestos insolubles por lo que disminuyen la astringencia de la semilla (Cross et al., 1982; López, 1986) y el amargor asociados con los taninos mientras que los sabores desagradables y olores de las proteínas tostadas decrecen. También ocurre oxidación de polifenoles los cuales posteriormente forman complejos con péptidos y proteínas. Cross, Villeneuve y Vincent (1982) informaron una disminución del 70% del contenido de polifenoles extraíbles entre cacao fermentado y sin fermentar; mientras que Forsyth (1952) mencionó que la pérdida de catequina (20-30 %) se debe a la exudación del cotiledón a la testa, al igual que lo indicaron Bracco et al., (1969) quien encontró esta pérdida sobre todo en el secado solar. La pérdida de antocianinas durante la fermentación se debe a que la glicosidasa entra en contacto con las antocianinas, cuando las paredes de las células se permeabilizan al morir el embrión, e hidroliza la antocianina en antocianidina y azúcar. La pseudobase que se forma es incolora bajo las condiciones de la reacción y es estable (López, 1986; Forsyth y Quesnel, 1957b; Lehrian y Patterson, 1983; Cross et al., 1982). Cross, Villeneuve y Vincent (1984) encontraron que el 90 % de los pigmentos decrece y que el máximo decrecimiento se presenta entre el segundo y tercer

día de fermentación.

Se puede observar en la Figura 20 que el cacao sin fermentar no mostró una tendencia lógica, ya que el Criollo fue el que más polifenoles totales contenía, le siguió el Trinitario, que no presentó diferencias estadísticas significativas con el Catongo, y finalmente el Forastero. Los taninos se encontraron en mayor porcentaje en el Criollo sin fermentar (Figura 21) mientras que los otros tres cultivares no fermentados no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos. En cuanto a las antocianinas también el Criollo tenía más que los otros genotipos (Figura 22), le siguió en magnitud el Forastero, el Trinitario y por último el Catongo.

El comportamiento del genotipo Criollo fue contrario a lo descrito en la literatura, donde se señala que los acriollados contienen menor porcentaje de polifenoles, taninos y antocianinas que los forasteros, por ser cacaos finos (Hardy, 1966; Ferrao, 1956 y Vile citados por Ramírez, 1988; The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984). Esto se debe a que se usaron clones altamente pigmentados de este genotipo lo que provocó un aumento en el contenido total de polifenoles (Enríquez, 1989). A pesar de lo anterior, se observa que al menos el Trinitario sí mostró menor cantidad de pigmentos que el Forastero. El Catongo,

genotipo albino, fue el que menor cantidad presentó, pues los pigmentos al ser compuestos polifenólicos debe presentarse en menor cantidad en éstos cultivares albinos.

Una vez que se fermentaron los cuatro genotipos, el Forastero retuvo mayor cantidad de polifenoles que el Criollo, y el Trinitario y el Catongo no mostraron diferencias estadísticas significativas (Figura 20); mientras que el porcentaje de taninos no mostró diferencias estadísticas significativas entre tres cultivares, únicamente el Catongo fue el que menos taninos retuvo y éste no fue diferente estadísticamente al Forastero (Figura 21). El Forastero fue el que mayor cantidad de pigmentos retuvo, luego el Criollo y el Catongo los cuales no mostraron diferencias estadísticas significativas y finalmente el Trinitario que tampoco fue diferente estadísticamente con el Catongo (Figura 22).

De manera que se encuentra que los acriollados tuvieron mayor facilidad de perder compuestos astringentes y amargos, al igual que pigmentos, que los forasteros. Probablemente por lo anterior en la literatura en los acriollados se encontraron menor cantidad de polifenoles que en los forasteros, pues se analizaron ya fermentados.

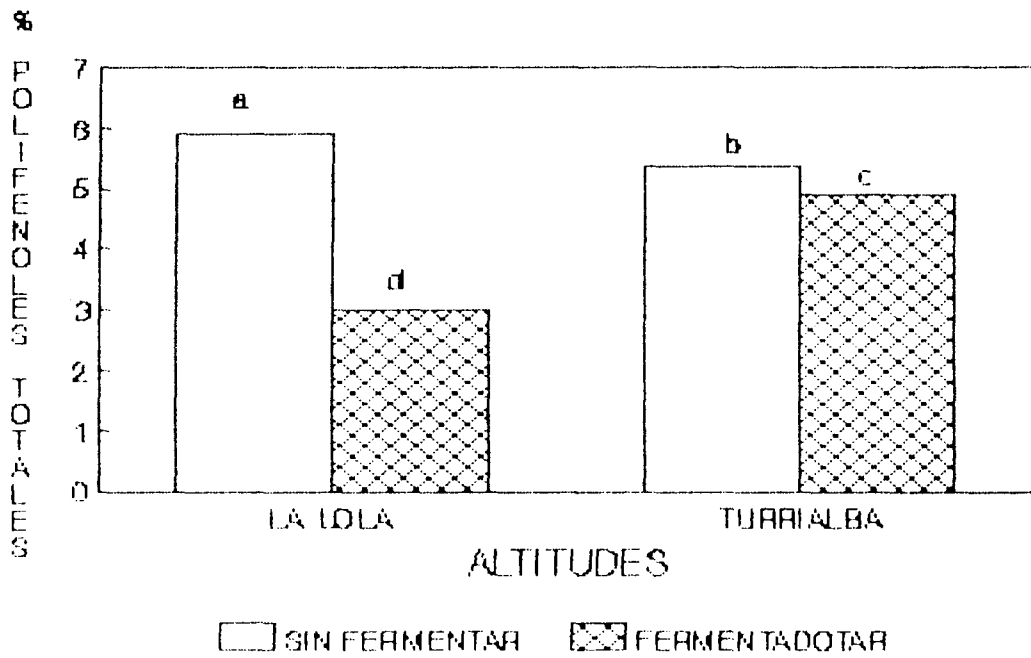
Los acriollados perdieron mayor porcentaje de

polifenoles totales, taninos y antocianinas durante la fermentación que los forasteros, debido a que los primeros completaron la fase alcohólica en las primeras cuarenta y ocho horas del proceso de fermentación mientras que los forasteros lo lograron hasta el tercer día de proceso (Cascante, 1984); la penetración del ácido acético se dió primero en los cacaos acriollados, lo que provocó la muerte del embrión y la permeabilización de las paredes de las células antes que en los forasteros. Las enzimas responsables de la degradación de los polifenoles empezaron a actuar en un período más corto en los acriollados permitiendo una mayor destrucción de estos compuestos. Además como lo sugiere Ramírez (1980) citado por Pardo (1988) un porcentaje alto de grasa puede obstaculizar la rápida difusión del ácido acético, lo cual generará una disminución de la hidrólisis de antocianinas, la cual se realiza a pH bajos y necesita el curso del ácido para actuar, de manera que al tener más grasa los forasteros y, como ya se observó, fueron menos ácidos se cumple lo anteriormente citado.

4.1.7.2. Efecto de la altitud sobre la fermentación en los contenidos de polifenoles totales, taninos y antocianinas.

Tanto a los 40 msnm como a los 600 msnm el cacao sin fermentar tuvo mayor porcentaje de polifenoles (Figura 23),

FIGURA 23. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el porcentaje de polifenoles totales

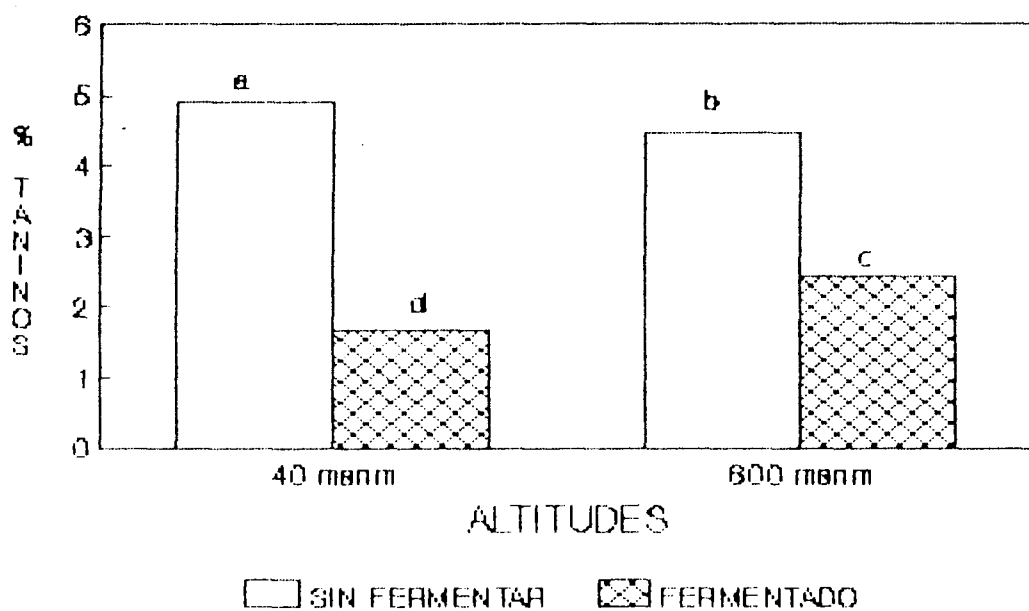


Datos tomados del Apéndice E.

taninos (Figura 24) y antocianinas (Figura 25) que el cacao fermentado. Esta situación se describió anteriormente para cada uno de los genotipos, y se explicó que la pérdida de compuestos polifenólicos fue una consecuencia de la permeabilización de las células del grano una vez que ha muerto el embrión, lo que permitió a las enzimas ponerse en contacto con los polifenoles, que incluye a los taninos y antocianinas, e hidrolizarlos, oxidarlos y polimerizarlos.

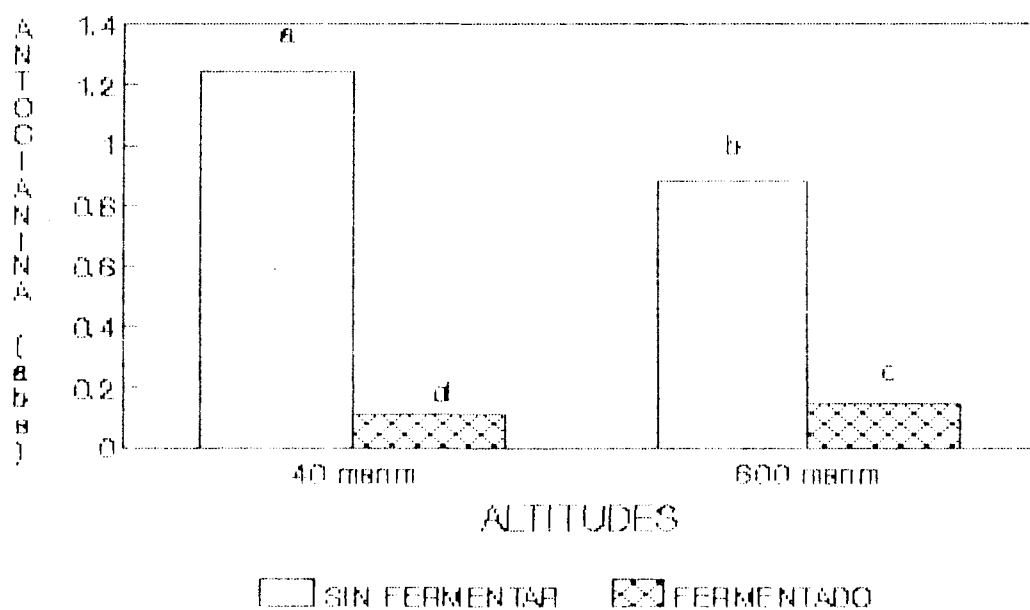
El cacao sin fermentar proveniente de la altitud a 600 msnm (Turrialba) presentó menos polifenoles (Figura 23), taninos (Figura 24) y antocianinas (Figura 25) que el de 40 msnm (La Lola); sin embargo, después de fermentarse el cacao de los 600 msnm presentó más sustancias polifenólicas que el de 40 msnm. El material de La Lola (40 msnm) fue el que más polifenoles, taninos y antocianinas perdió durante la fermentación (Apéndice CH), lo cual se explicó por la temperatura de fermentación alcanzada en estas altitudes. En zonas cercanas al nivel del mar la temperatura máxima de fermentación se logra antes que en zonas más altas, por lo que la muerte del embrión sobreviene más rápidamente en las primeras (40 msnm) (Vargas, 1988), lo que favorece que en forma más temprana la glicosidasa, la proteasa y posteriormente la polifenoloxidasa entren en contacto con sus sustratos, permitiendo un mayor tiempo de actividad. Además en las altitudes cercanas al nivel del mar la

FIGURA 24. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el porcentaje de taninos condensables



Datos tomados del Apéndice E.

FIGURA 25. Efecto de la altitud sobre la fermentación en el contenido de antocianinas, absorbancia.



Datos tomados del Apéndice F

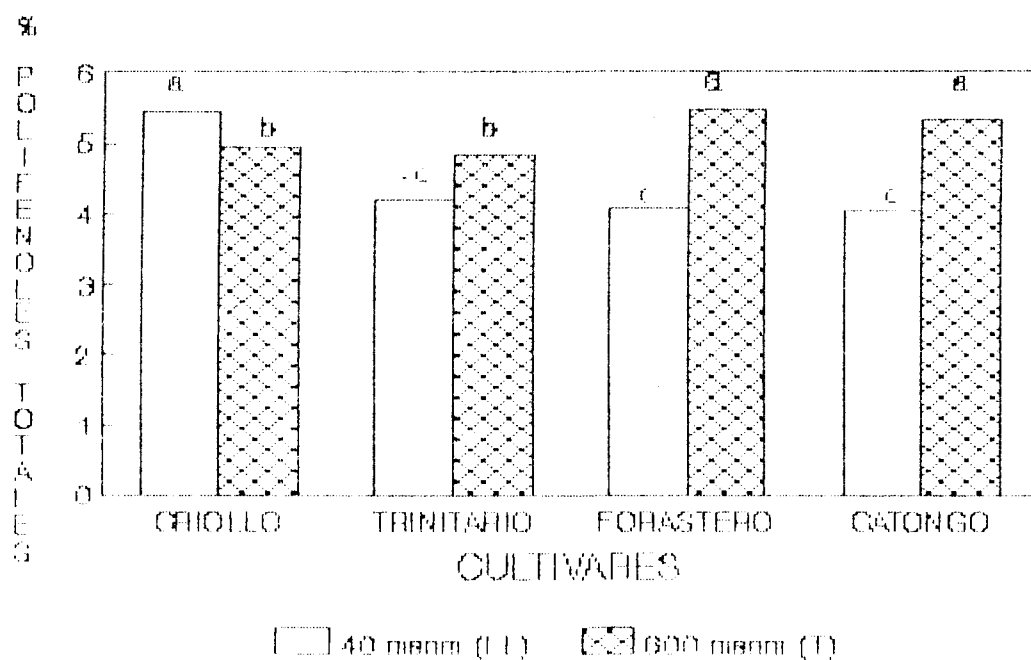
temperatura de fermentación es más alta que a los 600 msnm (Vargas, 1988 y Ramírez, 1988) lo que favorece la actividad de estas enzimas cuyas temperaturas óptimas se encuentran entre 45 y 50°C (Lehrian y Patterson, 1983 y López, 1986).

4.1.7.3. Efecto de la altitud sobre el genotipo en los contenidos de polifenoles totales, taninos y antocianinas.

Se observa que los 600 msnm fue la altitud donde se produjo cacao con más polifenoles totales (Figura 26) y taninos (Figura 27), con la excepción del cultivar Criollo. La altitud a 600 msnm (Figura 28) mostró que los genotipos Trinitario y Forastero poseían más antocianinas, mientras que el Criollo tuvo más a los 40 msnm (La Lola) y el Catongo no presentó diferencias estadísticas significativas en una u otra altitud. Este comportamiento se puede explicar con los resultados del apartado anterior, en el que se encontró que a los 600 msnm el cacao perdió menos polifenoles, taninos y antocianinas al sufrir fermentación, aunque se inicie el proceso con un cacao que contenía menos polifenoles que el de la altitud de 40 msnm, lo cual provocó que el promedio realizado con el cacao fermentado y sin fermentar sea mayor en Turrialba que en La Lola.

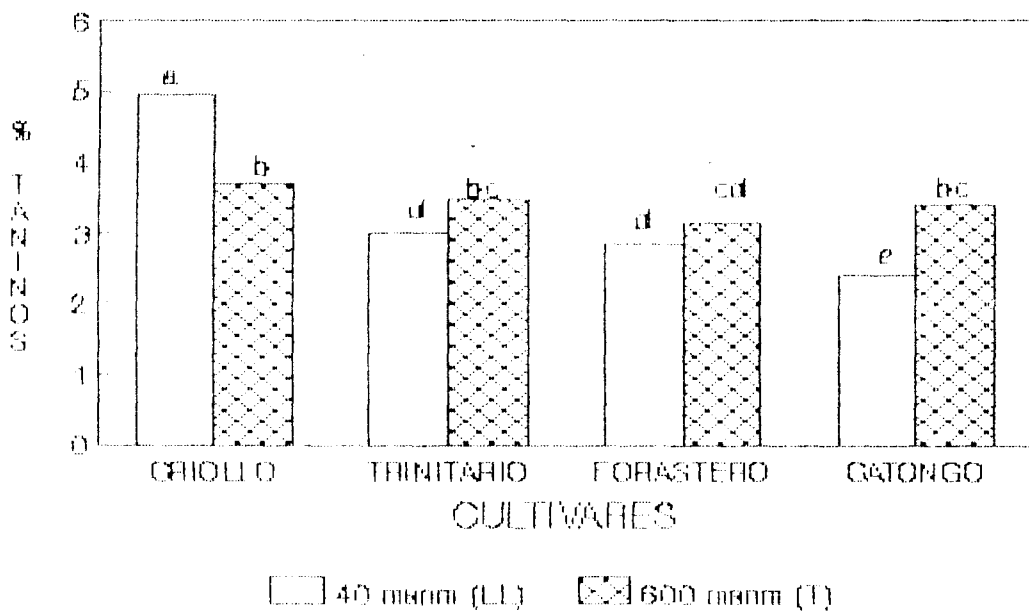
Se debe aclarar que en el caso del cacao sin fermentar es a 40 msnm (La Lola) donde se presentó mayor porcentaje

FIGURA 26. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de polifenoles totales.



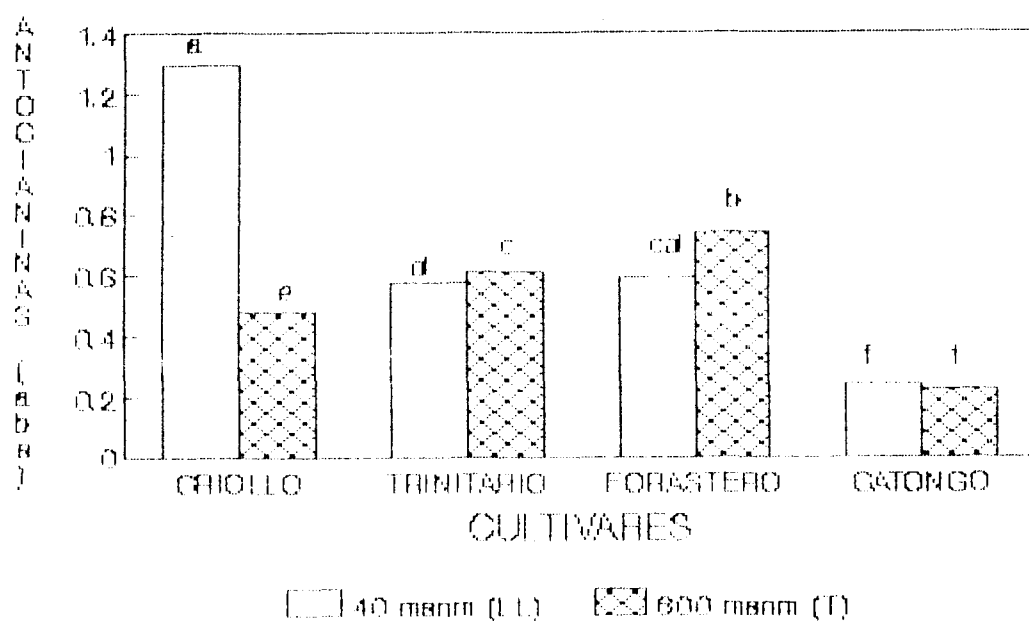
Datos tomados del Apéndice B.

FIGURA 27. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el porcentaje de taninos condensables.



Datos tomados del Apéndice F.

FIGURA 28. Efecto de la altitud sobre el genotipo en el contenido de antocianinas (absorbancia).



Datos tomados del Apéndice F.

de polifenoles totales como se indicó en el apartado anterior (Figuras 23), taninos (Figura 24) y antocianinas (Figura 25). Este comportamiento puede deberse al tipo de suelo de las zonas, como ya se indicó el suelo de La Lola es diferente al de Turrialba lo cual puede provocar diferencias en la constitución de las almendras de cacao, o al clima que también es diferente; no obstante no se puede explicar satisfactoriamente.

Además se encuentra que los cacaos forasteros a 600 msnm contenían mayor porcentaje de polifenoles totales (Figura 26) y antocianinas (Figura 28) que los acriollados; exceptuando al Catongo, éste contiene menos pigmentos morados que los otros cultivares pues es un genotipo albino, lo cual se ajustó a las observaciones de Hardy (1966), Ferrao (1956) y Vile citados por Ramírez (1988), como se había explicado.

Para los genotipos a 40 msnm (La Lola), el Criollo fue el que mostró más polifenoles (Figura 26) y antocianinas (Figura 28), mientras que entre los otros tres cultivares no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el contenido de polifenoles y ni en el contenido de antocianinas entre el Trinitario y el Forastero, y el Catongo fue el que menos pigmentación mostró. Ya se había mencionado que el cultivar Criollo presentó un

comportamiento contrario al esperado, y que se debe al tipo de clones que se utilizaron para lograr completar la cantidad necesaria de muestra. También probablemente al ser el Trinitario un complejo que tiene algo de Forastero (Enríquez, 1989; Soria, 1966) provocó las semejanzas entre ellos.

Los taninos a los 40 msnm se encontraron en mayor proporción en el genotipo Criollo, le siguió el Trinitario y el Forastero entre los que no hubo diferencias estadísticas significativas y finalmente el Catongo (Figura 27). A los 600 msnm (Turrialba) el Criollo y el Trinitario no presentaron diferencias estadísticas significativas y fueron los que mayor cantidad de taninos tenían, tampoco hubo diferencias estadísticas significativas entre el Trinitario, Forastero y Catongo. Nuevamente este comportamiento no fue el esperado, pues al ser los taninos los componentes responsables del amargor y la astringencia del cacao deberían encontrarse en menor cantidad en los acriollados, los cuales son cacaos finos menos amargos y astringentes que los forasteros (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984).

4.1.8. CORRELACIONES.

En el Cuadro 3 se encuentran los coeficientes de

CUADRO 3

Coeficiente de correlación entre la prueba de corte y los diez análisis evaluados.

Análisis	Coef Cor.(r)
Peso seco	0,58**
% ceniza	-0,72**
pH	-0,75**
Acidez total	0,81**
% nitrógeno total	-0,81**
% nitrógeno soluble	0,22
% grasa	-0,41
% polifenoles totales	-0,55*
% taninos	-0,42
Antocianinas (abs)	-0,52*
r tabular, 1%	0,56
r tabular, 5%	0,44

*/**: significancia al 5% y 1% de probabilidad respectivamente.

correlación de los diez análisis con el puntaje de la prueba de corte (Apéndice K), aplicados a cuatro genotipos de cacao fermentados y sin fermentar, recolectados a 40 y 600 msnm. Al ser la prueba de corte un ensayo subjetivo se compara con pruebas objetivas llevadas a cabo a través de análisis químicos o físicos, para tratar de medir que grado de confiabilidad puede tener, y también para lograr esclarecer cuáles pruebas objetivas pueden complementarla, en caso de una baja correlación.

Se observa que el porcentaje de nitrógeno soluble, el porcentaje de grasa y el porcentaje de taninos no mostraron correlación con la prueba de corte al 1% y al 5% de probabilidad, mientras que el porcentaje de polifenoles totales y el contenido de antocianinas medido con la absorbancia a 525 nm presenta una correlación al 5% de probabilidad. Los demás análisis muestran correlación alta ($P < 0,01$) con la prueba de corte .

El comportamiento del porcentaje de nitrógeno soluble, el porcentaje de grasa y de taninos al no presentar correlación al 1% ni al 5% de probabilidad con el puntaje de la prueba de corte puede ser razonable, tomando en cuenta que ésta no tiene que ver con estos componentes del grano, sino con aquellos constituyentes responsables de la coloración violeta o marrón. Los taninos son los

responsables del amargor y la astringencia del grano de cacao, lo cual es una característica que se desea eliminar con la fermentación. No obstante, la prueba de corte no permite evaluar este factor, a pesar de que asume que si disminuye la pigmentación violeta también disminuye el amargor. Podrían hacerse más pruebas al respecto, sobre todo organolépticas, para ver si existe alguna relación entre los taninos residuales y el amargor del grano, ya que no se encontró correlación alguna entre el contenido de taninos y la prueba de corte. Si hubiese correspondencia entre los taninos residuales y un amargor y astringencia fuerte en el grano de cacao, se podría realizar análisis de taninos a cacaos que indican buena fermentación con la prueba de corte, para conocer su "sabor", sin necesidad de hacer una prueba organoléptica, la cual no es fácil de aplicar ni de interpretar (Enríquez, 1989).

Es importante notar que aquellas pruebas químicas que más alta correlación ($P < 0,01$) deberían manifestar con la prueba de corte, polifenoles totales y antocianinas, no lo hacen (Cuadro 3), al contrario son las que presentaron un índice de correlación más bajo. La prueba de corte a parte de evaluar los defectos por moho o insecto que presenta el cacao, mide el número de granos violeta o marrón, lo cual debería correlacionar fielmente con polifenoles y antocianinas puesto que estas coloraciones violeta o marrón

se deben a estos constituyentes químicos. Si el noventa por ciento de los pigmentos decrece, ocurriendo el máximo decrecimiento el segundo y tercer día de fermentación por destrucción de las antocianinas y por migración hacia la testa (Forsyth, 1952b; Cros, Villeneuve y Vincent, 1984), debe también coincidir la tendencia con la del puntaje de la prueba de corte puesto que debe aparecer un menor número de granos violeta. Al no existir esta alta correlación se deduce que la prueba de corte no determina con certeza el verdadero número de granos violeta o marrón encontrados en una muestra dada, lo que indica que el principio en el que se basa no se cumple a cabalidad, pues la evaluación que hace es subjetiva. No obstante, la correlación al 5% de confiabilidad indica que es una prueba que da una idea del grado de fermentación, y sigue siendo mucho más valiosa, para análisis en el campo, que las pruebas químicas, haciendo la salvedad de que en este estudio no se aplicó la prueba de corte como se indica en la Norma Nacional sino separando los granos de acuerdo con el porcentaje de su superficie que estuviera marrón y asignándosele un número a cada porcentaje (Shamsuddin y Dimick, 1986), lo que hizo esta prueba menos subjetiva. Por otro lado, Forsyth y Quesnel (1957a) indican que si las condiciones de secado son óptimas para la actividad de la polifenoloxidasa aún si la etapa de fermentación no fuera satisfactoria se obtendría color marrón, aunque no gran sabor a chocolate. De manera

que la prueba de corte indicaría buena fermentación, pero el cacao no desarrollará el típico sabor a chocolate durante el tostado y no se eliminará el amargor y la astringencia.

Todo lo anterior impide que haya una verdadera interpretación del proceso de fermentación, de ahí que se considere que la prueba de corte no es un método completo para la evaluación de la fermentación; requiere ser complementada. Al respecto, López (1984) resalta la insuficiencia de la prueba de corte para asegurar un período de fermentación conveniente. Maravalhas (1970) indica que los granos violeta compactos pueden haber alcanzado un estado avanzado de fermentación o el punto exacto cuando las reacciones intracelulares para el proceso de cura se inician, lo que hace a la prueba de corte menos valiosa en el aspecto de evaluar el grado de fermentación, puesto que es difícil distinguir por examen visual cuando el grano violeta abierto está en el estado determinado después o antes del estado compacto, llamado fermentado o no fermentado. Martin (1987) mencionó que algunos trabajos hechos por investigadores muestran la falta de reproducibilidad en la evaluación del color en una prueba de corte entre varios laboratorios estudiados. Shamsuddin y Dimick (1986) encontraron en un estudio realizado con cuarenta muestras de cacaos comerciales de algunas partes del mundo, que el índice de correlación entre los

polifenoles totales y el score de la prueba de corte es -0,78, existiendo una correlación al 1% de probabilidad, o sea mayor que la encontrada en esta investigación. Todo lo expuesto apoya lo encontrado en este estudio.

El peso seco, porcentaje de ceniza, pH, acidez total y nitrógeno total no tienen relación con los pigmentos ni con los polifenoles del grano directamente; sin embargo, éstos son los que presentan más alta correlación con la prueba de corte. Lo que ocurre es que estos parámetros se ven afectados por la fermentación en forma semejante para cualquier genotipo, mientras que las antocianinas y el porcentaje de polifenoles totales se ven afectados por el genotipo, en el sentido de que dependiendo de si el cultivar es acriollado o forastero habrá una fermentación con cambios más marcados o no; o a si el cultivar es albino, este es el caso del Catongo, el cual presenta cantidades pequeñas de antocianinas y polifenoles aunque la prueba de corte no toma en cuenta este tipo de material bajo en pigmentos.

4.1.9. SELECCION DE LOS PARAMETROS QUIMICOS.

Los diez análisis ensayados se eligieron tomando como base aquellos que se habían usado en estudios anteriores y que mostrarán cambios profundos durante la fermentación.

En el Cuadro 2 se muestran los cuadrados medios de cada una de las fuentes de variación para los diez análisis químicos y físicos realizados. Para seleccionar los indicadores de calidad se buscaron aquellos que presentaron un valor de F (CM tratamiento/ CM error) más alto para la fuente de variación correspondiente a la fermentación, pues este factor es primordial en la calidad final del cacao, independientemente del genotipo, fino o común. Si se tiene un cacao con un alto potencial de buen sabor, por ejemplo Criollo, se puede arruinar al no recibir una fermentación adecuada (The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance, 1984). Los análisis químicos que presentan un valor de F mayor, como se puede calcular del Cuadro 2, son los referentes a porcentaje de ceniza, pH, acidez total y contenido de antocianinas. La acidez total no se sugirió como parámetro ya que es un análisis más tedioso si se compara con la simplicidad de los tres primeros y además se encontró que la acidez total presenta correlación con el pH ($r=-0,87$), lo que significa que basta con realizar este último análisis.

Los ámbitos correspondientes a cada análisis se escogieron tomando los valores máximos y mínimos del cacao fermentado, de cualquier genotipo y lugar, para asignarlos al grano bien fermentado y los del cacao sin fermentar para los granos no fermentados; el ámbito para el cacao mal

fermentado se calculó con la diferencia existente entre los valores mínimos del cacao fermentado y el máximo del no fermentado. Se le llamó mal fermentado, pues es cacao que recibió algún tratamiento; sin embargo, no fue el mejor por lo que no ocurrieron todos los cambios que debían. Estos valores se seleccionaron de esta forma pues corresponden a diferentes genotipos y altitudes, que como ya se mencionó influyen en el proceso de fermentación, de manera que son ámbitos bastante amplios que contemplan cualquier factor que pueda influir en la calidad del grano después de fermentado y seco. Además lo que se pretende evaluar con éstos es la calidad o buena fermentación de los cacaos híbridos cultivados en todo el país, por lo que es importante tomar en cuenta todos los factores antes mencionados. Los valores se encuentran en el Cuadro 4.

Al observar el Cuadro 4 se encontró que, de los tres análisis escogidos, únicamente el pH y el contenido de antocianinas separan eficientemente los valores correspondientes al cacao fermentado y los del cacao sin fermentar, mientras que los otros tienen un valor límite por encima del cual se está fermentado o no y por debajo lo contrario, pero no hay valores para cacao mal fermentado. El porcentaje de cenizas es uno de éstos; no obstante, este último análisis es uno de los elementos de más fácil control, porque no sufre ninguna reacción durante la

CUADRO 4

Valores asignados a cada análisis de acuerdo al grado de fermentación que presenten, los cuales se aplican al cacao en grano seco (Theobroma cacao), para conocer su calidad.

Analisis	Bien fermentado	Mal fermentado	Sin fermentar
Peso seco, g.	1,043 - 1,689		0,902 - 1,1546
% ceniza	< 3,40		> 3,40
pH	4,95 - 5,75	5,75 - 6,55	6,55 - 7,05
Acidez t. (mL NaOH 0,1M/g)	6,06 - 2,56	2,56 - 2,21	2,21 - 1,14
% nitrógeno total	< 2,02		> 2,02
% nitrógeno soluble	1,12 - 0,21		1,55 - 0,42
% grasa	44,96 - 61,45		50,03 - 58,08
% polifenoles totales	< 3,00		> 3,00
% taninos	< 3,36		> 3,36
Antocianina (absorbancia)	0,057 - 0,244	0,244 - 0,794	0,794 - 2,564

Los resultados se calcularon en base seca, excepto el análisis de antocianina y pH.

fermentación sino que lo único que ocurre es que difunde hacia la testa .(Rohan, 1964). Esto permite darle seguimiento a las exudaciones que se producen una vez que el embrión ha muerto y tener una idea de las temperaturas de fermentación; de ahí que si no se reduce el porcentaje de cenizas indica que el embrión no murió antes de que se pusiera a secar el cacao, ya sea porque no se le dió el tiempo suficiente o porque el método utilizado no permitió la elevación de la temperatura para que el embrión muriera en las primeras cuarenta y ocho horas (Rohan, 1964). Para el porcentaje de ceniza no se encontró otros valores con los cuales compararlo.

Se debe hacer notar que los parámetros peso seco y porcentaje de grasa realmente miden la calidad desde el punto de vista de rendimiento y no de sabor, pues estos parámetros están sujetos a la genética del árbol que los produce. Algunas poblaciones genéticas generan granos de mayor tamaño y contenido de grasa que otros; sin embargo, si no reciben una fermentación adecuada se convierte en aceptable por las dos primeras propiedades, pero intolerable en cuanto a sabor. Estas características se ven afectadas por el proceso de fermentación según se analizó en los primeros capítulos, no obstante, los granos de cacao de mayor peso antes de fermentarse también lo fueron después de fermentarse, lo mismo ocurrió con la grasa, aquellos

genotipos con más grasa antes de la fermentación contenían más después de fermentarse. Prueba de ello es que en el Cuadro 4, los valores correspondientes al cacao bien fermentado se traslapan con los del cacao sin fermentar para estos dos parámetros.

En cuanto al contenido de acidez, se debe recordar que un cacao con un pH más bajo de 4, se considera de mala calidad, a pesar de que recibiera buena fermentación. El problema es que algunos cacaos con un pH tan bajo contienen ácidos no volátiles que son difíciles de eliminar durante la elaboración del chocolate, lo cual le impartirá al producto final un mal sabor (Biehl, 1987, Baigrie y Rumbelow, 1987). En el caso de que el cacao presente el contenido de antocianinas y de cenizas dentro del límite de cacao bien fermentado pero su pH menor a 4,95, se considera que recibió fermentación, sin embargo, se sobrefermentó o el genotipo es del tipo que provoca una fuerte acidificación, por lo que se obtiene un cacao con una acidez excesiva, y debe castigarse su calidad a pesar de que fue bien fermentado. En la literatura se mencionan valores de pH considerados adecuados después del beneficiado para lograr un cacao fermentado pero sin exceso de acidez. El ámbito entre 5,1 y 5,4 después del secado es conveniente según Saposnikova (1952) y Howal, Powell y Wood (1957) citados por Pardo (1988), este ámbito es más reducido que el propuesto en este estudio y estos

valores están incluidos en los señalados en el Cuadro 4.

Bracco et al. (1969) señalaron que el porcentaje de nitrógeno total varía desde 2,27% hasta 2,04% en cinco días de fermentación, lo cual se ajusta bastante al valor que se encontró en este estudio para el cacao bien fermentado, 2,02. No obstante, este parámetro no se recomienda pues es un análisis que consume mucho tiempo y como ya se dijo su valor de F correspondiente al factor fermentación no fue uno de los más altos.

Bracco et al. (1969) encontraron que el nitrógeno soluble se inició en 0,70% y al cabo de cinco días de fermentación fue de 0,73%, disminuyendo en los primeros días y luego aumentando; lo cual no tiene semejanza con lo encontrado en este estudio porque los valores encontrados son mayores ya sea fermentados o sin fermentar, 1,12% y 1,55% o muy bajos, 0,21% y 0,42%. Aunque sí se encuentra la semejanza de que los valores iniciales de la fermentación son parecidos a los finales, con la diferencia de que el ámbito de este estudio es muy amplio. El hecho de que los valores para el cacao sin fermentar y fermentado sean tan semejantes indica que no se puede usar para determinar el grado de fermentación.

Cros, Villeneuve y Vincent (1982) encontraron que los

polifenoles totales se reducen de 11,7% el día que se inicia la fermentación a 4,8% el quinto día. Ellos utilizaron un cacao de los forasteros, probablemente por eso es que el valor al final del quinto día es mucho mayor que el que se logró en este estudio, 3,0%. Pues en este se usaron cacaos acriollados y forasteros y probablemente este valor es un promedio incluyendo material acriollado, ya que estos son los que pierden compuestos polifenólicos más rápidamente durante la fermentación, como ya se explicó.

Cros, Villeneuve y Vincent (1982) también indican que los taninos se redujeron de 4,2% a 2,2% al quinto día de fermentación. En este caso, el valor de taninos es mayor en el presente estudio, 3,36.

En cuanto a las antocianinas, Bracco *et al.* (1969) analizaron pigmentos y encontraron que al cabo de seis días de fermentación éstos disminuyen a cerca de 0,20%; sin embargo, ellos utilizaron un patrón para comparar las antocianinas y en este estudio no se hizo así, sino que únicamente se midió la absorbancia. Cros, Villeneuve y Vincent (1984) midieron las antocianinas a través de la absorbancia a 525 nm y encontraron que al cabo de cinco días éstas llegan a una absorbancia de 0,2, aproximándose este valor al señalado en este estudio como valor máximo para cacao bien fermentado, 0,244 en el Cuadro 4.

4.2. II ETAPA. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL CACAO DE CUATRO ZONAS CACAOTERAS DE COSTA RICA EN DOS EPOCAS DEL AÑO.

4.2.1. COMPARACION ENTRE ZONAS Y ENTRE EPOCAS.

En el Cuadro 5 se observa que el análisis de pH sufrió variaciones más pronunciadas entre los lugares que entre las épocas evaluadas, mientras que las antocianinas y el porcentaje de ceniza estuvieron mayormente afectadas por la época que por la zona.

4.2.1.1 ANALISIS DE pH.

Hubo diferencias significativas estadísticas en pH entre las zonas (Cuadro 5 y Figura 29); lo cual era de esperarse, ya que el pH está relacionado con el tratamiento que se le dé al cacao y el lugar donde se encuentre el árbol afecta la acidez, así pues poca sombra sobre el árbol provoca que se desarrolle sesenta por ciento más de acidez libre total que en árboles jóvenes con sombra media o mucha (Chick, Mainstone y Wai, 1981 y Lehrian y Patterson, 1983). Además el grado de madurez con que se recolectaron las mazorcas puede afectar, como ya se explicó, si la mazorca se recolecta sin estar madura la pulpa tendrá un contenido más bajo de azúcares lo cual provoca menor generación de ácido, por lo cual la fermentación será más lenta.

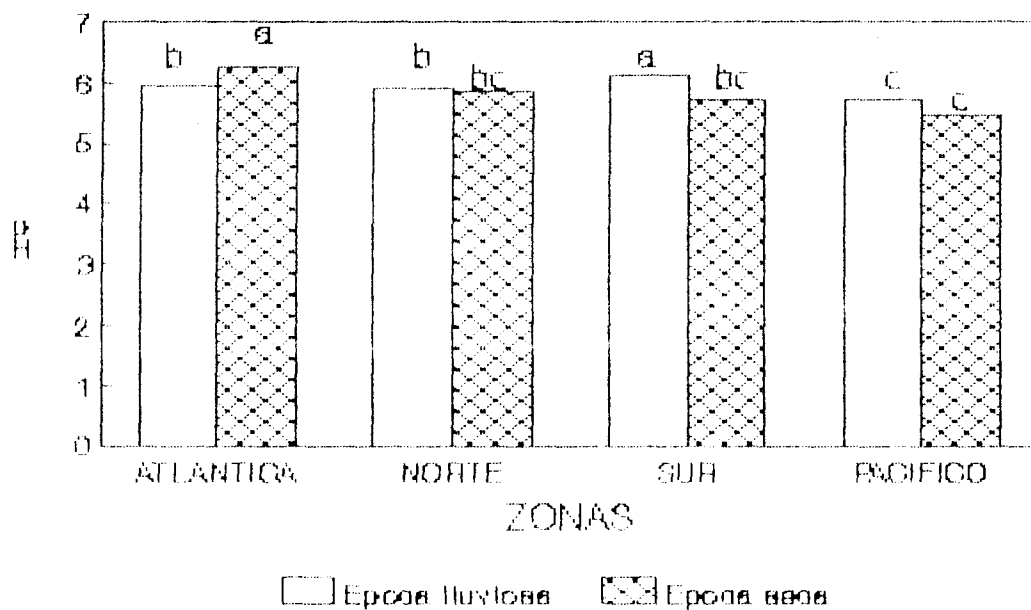
CUADRO 5

Valores promedio de pH, porcentaje de ceniza y antocianinas, correspondientes a cacao híbrido, (*Theobroma cacao*), recolectado en cuatro zonas cacaoteras, en dos épocas diferentes de cosecha

EPOCAS			
	Luviosa	Seca	Media zona
ZONAS	pH		
Atlántica	5,94 b	6,26 a	6,10 A
Norte	5,92 bc	5,85 b	5,89 B
Sur	6,10 a	5,74 bc	5,93 B
Pacífico C.	5,72 c	5,48 c	5,60 C
Media Epoca	5,92 A	5,83 A	
% CENIZA			
Atlántica	2,84 c	3,28 b	3,06 B
Norte	2,84 c	3,33 b	3,09 B
Sur	2,79 c	3,61 a	3,20 A
Pacífico C.	2,88 c	3,28 b	3,08 B
Media Epoca	2,84 B	3,37A	
ANTOCIANINAS			
Atlántica	1,159 c	2,586 a	1,872 A
Norte	0,782 de	1,766 b	1,274 B
Sur	1,054 dc	1,710 b	1,382 B
Pacífico C.	0,442 e	0,827 c	0,634 C
Media Epoca	0,859 B	1,722 A	

Promedios con la misma letra entre columnas o hileras no presentan diferencias significativas según la prueba de Duncan ($P < 0,05$).

FIGURA 28. Resultados del análisis de pH practicado a cacao de cuatro zonas de Costa Rica en dos épocas del año



Datos tomados del Cuadro 5.

En la zona Atlántica el cacao presentó el pH más alto y en el Pacífico Central el más bajo, de acuerdo a los promedios totales. Evaluando en cada una de las épocas este comportamiento, en la época lluviosa el pH más alto se encontró en el cacao de la zona Sur, le siguieron los de las zonas Atlántica y Norte, entre las que no hubo diferencias estadísticas significativas y finalmente el de la zona del Pacífico Central. En época seca el cacao de la zona Atlántica fue el que mostró el pH más alto, le siguieron el cacao de las zonas Norte y Sur, entre las que no hubo diferencias estadísticas significativas y por último el del Pacífico Central (Cuadro 5 y Figura 29). Únicamente las muestras del Pacífico Central, en ambas épocas y las de la zona Sur en época seca indicaron que estaban bien fermentadas de acuerdo al Cuadro 4. De acuerdo con la información recopilada por medio de las encuestas (Apéndice V) se conoció que la zona Pacífico Central es un lugar donde los agricultores por estar trabajando con un producto nuevo para ellos, están aprendiendo a manejarlo adecuadamente, y están usando algunos métodos de fermentación, por lo que se justifica que sea la única zona con un pH bajo, dentro del límite aceptado como bien fermentado de acuerdo al Cuadro 4. En las zonas Atlántica y Sur, antes de la aparición de la monilia en 1979, se hacía un escurrido al cacao en sacos y era suficiente para lograr un cacao de sabor aceptable pues lo que había cultivado era

un cacao acriollado; sin embargo, después de 1979 se introdujo al país un híbrido con un cruce forastero para lograr resistencia a las enfermedades y mayor productividad, el cual requiere de al menos cinco días de fermentación en un buen sistema. Los cacaoteros pequeños, que son la mayoría (Soto y Vargas, 1984), no integraron estos cambios al manejo post cosecha y por tradición la mayoría sigue usando el método de sacos. Estas zonas por lo tanto fueron las más problemáticas en cuanto al tratamiento post cosecha dado al cacao. Muy pocos productores utilizaron buenos sistemas de fermentación como fue el caso de la Cooperativa de San Carlos, Coopalca del Sur, algunos agricultores independientes en San Isidro del General, en Quepos, en Upala y en Pejibaye de Turialba.

No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los materiales de las dos épocas de cosecha, de acuerdo a los promedios totales, aunque analizando cada zona se tuvo que la zona Atlántica presentó un cacao con un pH más alto y la zona Sur uno con un pH más bajo durante la época seca (Cuadro 5 y Figura 29) que durante la lluviosa. A pesar de que lo esperado era que hubiera mayor acidez durante esta última en el grano de todas las zonas, porque la pulpa estaba más húmeda y permitía que la fermentación durara los días que se requieren para obtener buena calidad; caso contrario, para

una pulpa seca al cabo de tres días no se puede fermentar más, pues ya no hay humedad y los granos se empiezan a pegar entre sí.

En la zona Sur, en la época seca, el pH encontrado, 5,74, fue el de un cacao bien fermentado, lo cual pudo explicarse por el empleo de mazorcas poco maduras las cuales son más ácidas que las maduras; no se utilizó como argumento una buena fermentación porque en esta zona los productores en su mayoría escurren el cacao y por ser época seca la baja humedad de la pulpa impediría la culminación exitosa del proceso. Como se observa en el Apéndice G, en la época de cosecha baja se presentó menor precipitación pluvial que en la época lluviosa; de manera que debe habersele dado un mal manejo al cacao de esta época para no lograr un pH bajo teniendo más pulpa que en época seca.

En la zona Atlántica el pH fue mayor en el cacao de la época seca, como se esperaba; sin embargo, en el Apéndice G se observa que no hubo diferencia en la precipitación entre las dos épocas por lo que tampoco debió existir diferencia en la medición de pH. La explicación puede enfocarse hacia el aspecto de cantidad de masa a fermentar; ya que los agricultores indican que durante el período de enero a abril la cantidad de cacao cosechado disminuye (Figura 1), lo cual puede condicionar al productor a no escurrir el

cacao y mucho menos a fermentarlo correctamente. Pequeñas cantidades de cacao no se pueden fermentar (Vargas, 1988), ya que al colocar poca masa de cacao en los sacos, en montones o en cajas para fermentarlo no ocurre el aumento necesario de temperatura, por lo que no ocurren los cambios deseados dentro del cotiledón. Si el agricultor cosecha poco cacao en baba no lo va a escurrir sino que lo lava y lo seca, según se logró conocer a través de las encuestas realizadas (Apéndice V).

Probablemente en las otras dos zonas, Norte y Pacífico Central, no hubo diferencias en el pH de los cacaos entre las dos épocas del año debido a que dos efectos se compensan, en la época lluviosa hubo más pulpa pero la temperatura de fermentación fue más baja, mientras que en época seca se tuvo menos pulpa aunque la temperatura ambiente fue mayor. Además, el procedimiento utilizado para la fermentación en estas zonas es más eficiente y se aplica con mayor regularidad que en los otros dos lugares.

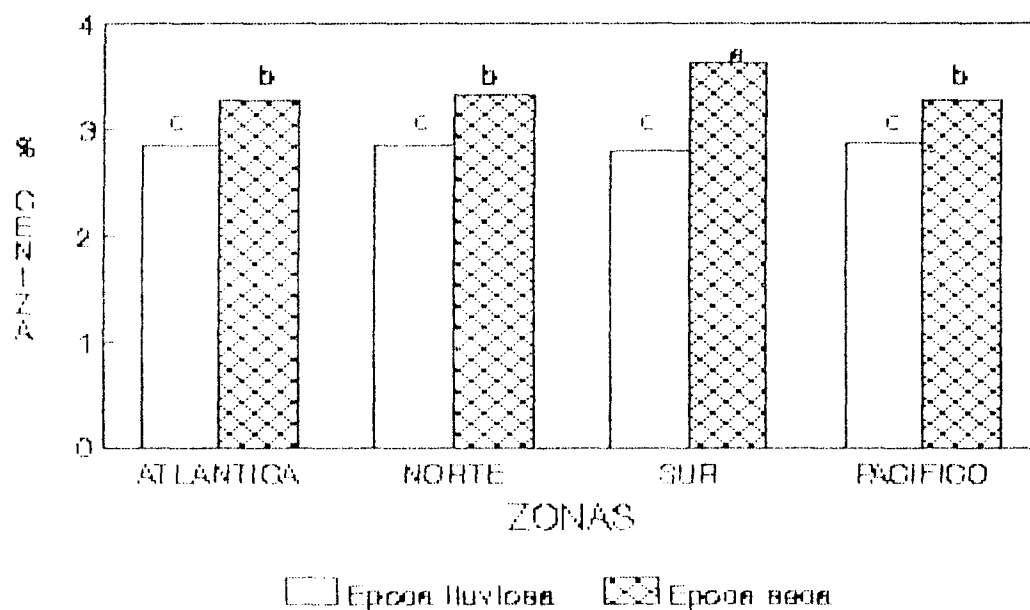
4.2.1.2. PORCENTAJE DE CENIZA.

Se presentaron pocas variaciones en el cacao en cuanto al contenido de cenizas al comparar los promedios totales de las cuatro zonas (Cuadro 5), únicamente la zona Sur mostró mayor porcentaje de cenizas. Evaluando las zonas en cada

una de las épocas se observa en este mismo cuadro y en la Figura 30 que en la época seca, el cacao de la zona Sur contenía mayor cantidad de cenizas que el de las otras tres zonas, mientras que en la época lluviosa no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los cacaos de las cuatro zonas. Se esperaba que hubieran pocas diferencias entre los materiales de las zonas, dado que la exudación de las cenizas se puede ver afectada de dos maneras: primero, por la temperatura de fermentación que depende de la cantidad de masa que se fermente, del sistema empleado y de la altitud de la zona, y segundo por la humedad del medio. Las cuatro zonas tienen cacao con una humedad semejante, ya sea época lluviosa o seca, se practica más frecuentemente el escurrido que otros métodos y están a una misma altitud sobre el nivel del mar; por lo que los cambios sufridos en el cotiledón son similares. Además el material no influye, ya que todos los agricultores manejan los mismos híbridos. La zona Sur fue la única que presentó cacao diferente, no se dió una explicación satisfactoria, solamente se podría pensar que el tipo de suelo y clima puede influir, pero no se tenía pruebas.

Existe una contradicción en la zona Sur durante la época seca, donde el pH indicó cacao bien fermentado pero las cenizas indican cacao que no recibió ningún proceso de fermentación. La explicación a esta situación es que la

FIGURA 30. Resultados del porcentaje de ceniza practicado a cacao de cuatro zonas de Costa Rica en dos épocas.



Datos tomados del Cuadro 6.

humedad de la pulpa influye de dos formas sobre el proceso. Al ser la pulpa más seca permite que el aire circule libremente entre los granos, favoreciendo la oxidación de etanol a ácido acético (López, 1984)., sin embargo, la escasez de líquido impide la migración de las cenizas.

Al comparar las épocas entre sí se encuentra que durante la época seca se presentó mayor cantidad de cenizas que en la lluviosa, y este fue el comportamiento del cacao en las cuatro zonas; a pesar de que Alvarado, Villacís y Zamora (1983) no encontraron diferencias estadísticas significativas en el contenido de cenizas entre los meses que analizaron.

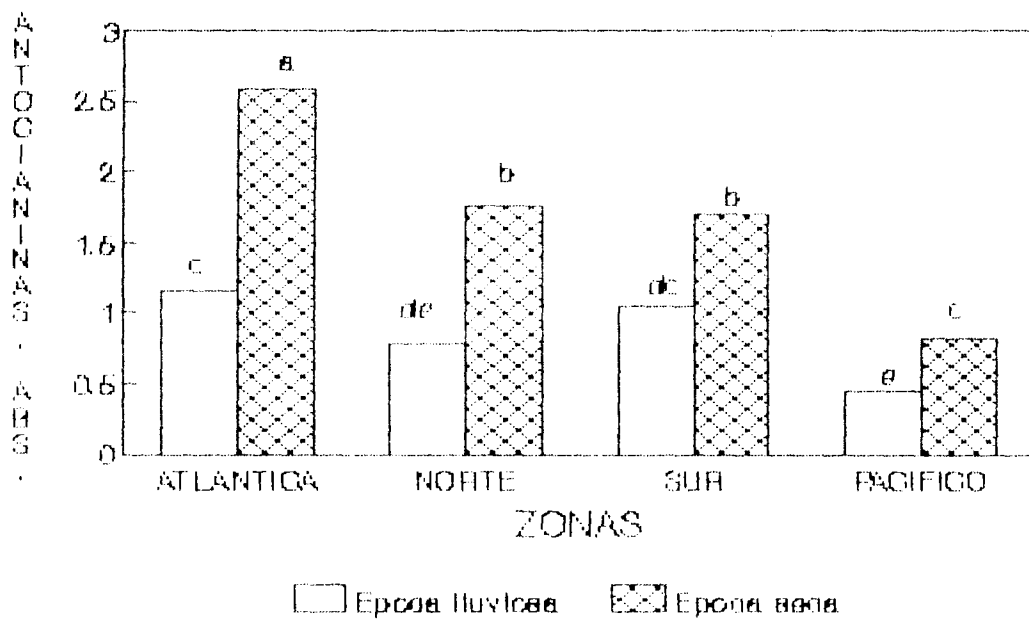
De todas las muestras de la época lluviosa las de la zona Sur fueron las únicas que indicaron que no hubo fermentación, las demás se encontraron en el ámbito de cenizas para cacao bien fermentado, mientras que en la época seca las muestras de todas las zonas presentaron valores de ceniza para cacao no fermentado (Cuadro 4). Como ya se indicó, el agricultor durante la época lluviosa debe escurrir el cacao en sacos cuando no aplica un método adecuado de fermentación (gavetas Rohan, montones, cajones, etc) para remover la pulpa antes de secar el cacao; de otra forma la pulpa impide alcanzar un porcentaje de humedad bajo. En época seca, poca pulpa rodea a la semilla y además se cosecha muy poca cantidad de mazorcas lo que provoca que

no se escurra durante tres días sino que durante menos tiempo o en algunos casos ni siquiera se hace, de manera que hay poca exudación de cenizas o ninguna. Además si en ambos períodos se aplicara el escurrido, la baja humedad afecta negativamente el proceso, pues bajo condiciones secas disminuyen los procesos microbiológicos y bioquímicos de la cura, al disminuir éstos hay menos movimiento de sustratos, enzimas y de compuestos que se exudan (DeWitt, 1956). Quesnel (1971) indicó que la fase anaeróbica es más larga en la estación húmeda lo cual provoca que haya mayor exudación de sustancias solubles .

4.2.1.3. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS.

La mayor cantidad de antocianinas se encontró en el cacao de la zona Atlántica, le siguieron en magnitud los de las zonas Norte y Sur y finalmente el del Pacífico Central (Cuadro 5), de acuerdo a los promedios totales, manteniéndose la tendencia antes descrita tanto en la época seca como en la lluviosa, Figura 31, relacionando lo anterior con el Cuadro 4, los valores para el Pacífico Central y la zona Norte durante la época lluviosa se encontraron dentro del ámbito de cacao mal fermentado y las otras zonas en el de cacao sin fermentar. Debido a que los productores del Pacífico Central usaron mejores sistemas de fermentación que los de las otras zonas, por la razones

FIGURA 31. Resultados del análisis de antocianina practicado a cacao de cuatro zonas de Costa Rica en dos épocas.



Datos tomados del Cuadro 6.

antes expuestas; con lo cual se confirma lo expuesto por Vargas y Sotq (1989), quienes indican que los agricultores en su mayoría utilizan el método de sacos para darle tratamiento post cosecha al cacao, con el cual no se consigue que ocurran todas las reacciones enzimáticas y oxidativas deseables para obtener un cacao de buen sabor.

El cacao de las cuatro zonas estudiadas presentó, durante la época seca, mayor cantidad de antocianinas que en la época lluviosa, Figura 31; debido a que la poca humedad en la estación seca, tanto en la pulpa como dentro del cotiledón, retardó las reacciones bioquímicas (DeWitt, 1956; López, 1984 y Rohan, 1964). Además, como ya se indicó en época seca muchos agricultores no colocan el cacao en los sacos, ya sea porque se recolecta muy poco o porque la pulpa está tan seca que si lo hicieran corren el riesgo de no secar bien el cacao, debido a que los granos se aglomeran como consecuencia de una pulpa poca húmeda pero azucarada. En época lluviosa el cacao presentó menos pigmentos, aunque no valores lo suficientemente bajos como para considerarlos mal o bien fermentados de acuerdo al Cuadro 4, debido a que los productores en su mayoría colocan el cacao en sacos de plástico por tres días, sin removerlo, para destruir la pulpa. Parece que apenas se le da tiempo, en esos tres días, para que muera el embrión, pero cuando las enzimas están empezando a actuar sobre el sustrato se

detiene el proceso, por lo que no se logra la hidrólisis total de los pigmentos.

4.2.2. CALIDADES DE CACAO ENCONTRADAS EN CADA ZONA Y EPOCA.

Se hizo una enumeración de las diferentes combinaciones de los tres parámetros químicos (pH, %ceniza y antocianinas) (Cuadro 6), comparando los resultados que presentaron las muestras analizadas de los agricultores e intermediarios del país con los ámbitos propuestos en el Cuadro 4.

Las encuestas (Apéndice V) suministraron información aproximada sobre la cantidad de cacao manejada por el intermediario o agricultor en un cierto período de tiempo, con lo cual se pudo calcular que únicamente un 12% de todo el cacao producido en las zonas encuestadas recibió un buen proceso de fermentación. Este fue llevado a cabo en las Cooperativas de San Carlos, Coopalca del Sur y algunos productores independientes que poseían cajones o gavetas Rohan. Esto llama la atención acerca de la mala calidad del cacao del país, sobre todo si se observa que el grueso de las muestras analizadas se encontraron en las categorías donde los tres indicadores de calidad señalaban al cacao mal fermentado o sin fermentar (Cuadro 6).

Analizando cada categoría se encontraron valores

CUADRO 6

Porcentajes del número de muestras que presentaron diferentes calidades en cuatro zonas productoras de cacao en dos épocas del año.

ZONA	Atlántica		Norte		Sur		Pacífico		TOTAL	
EPOCA	LLuvia	Seca	Lluvia	Seca	LLuvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
Total muestras	28	21	35	26	23	20	8	5	94	72
pH * * ceniza * antocia- nina. *										
1 bien bien bien	7,1	4,8	17,1	7,7	8,7	0,0	50,0	0,0	20,8	3,1
2 bien bien mal	10,7	4,8	17,1	15,4	8,7	5,0	12,5	20,0	15,8	8,2
3 bien bien sin	7,1	0,0	20,0	11,5	4,3	5,0	0,0	40,0	7,8	14,1
4 bien sin mal	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	20,0	12,5	20,0	3,1	11,2
5 bien sin sin	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	4,7
6 bien sin bien	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,2
7 mal bien mal	14,3	0,0	2,9	3,8	13,0	0,0	12,5	0,0	10,7	0,9
8 mal bien sin	60,7	38,0	40,0	15,4	60,9	15,0	12,5	20,0	43,5	22,1
9 sin bien bien	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0
10 sin bien sin	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
11 mal sin bien	0,0	0,0	2,9	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9
12 mal sin mal	0,0	0,0	2,9	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9
13 sin sin sin	0,0	33,3	0,0	38,5	0,0	35,0	0,0	20	0,0	26,7

* Grado de fermentación con respecto al Cuadro 4.

dentro del ámbito de cacao bien fermentado, de acuerdo al Cuadro 4, para los tres indicadores químicos durante la época lluviosa sobre todo en el Pacífico Central, con un 50% de las muestras recolectadas allí, le siguió el cacao de la zona Norte con 17,1% de sus muestras, luego el de la zona Sur y finalmente el de la zona Atlántica. En la época seca la zona Norte fue la localidad que presentó mayor número de muestras bien fermentadas, 7,7, y luego la zona Atlántica; en las otras dos zonas no hubo muestras bien fermentadas en esta época (número 1 del Cuadro 6). La mitad de las muestras recogidas en el Pacífico Central estaban bien fermentadas como consecuencia de la voluntad que tienen los productores para aplicar técnicas aconsejables para el tratamiento post cosecha, por ser una zona que no tiene una cultura de cacao. Las otras zonas alcanzan un máximo de 17% de sus muestras dentro de esta categoría, debido a que son zonas tradicionalmente cacaoteras y los agricultores no se preocupan por la fermentación, como ya se explicó. Algunas muestras estaban bien fermentadas en estas zonas, pues hay fincas con gran producción de cacao o cooperativas, por ejemplo en Palmar Sur y en San Carlos, que han instalado sistemas de cajones, cajas Rohan u otro sistema efectivo.

En cuanto a las épocas, las muestras de cacao se comportaron de la siguiente manera: un 20,8% de las recolectadas durante la época lluviosa y un 3,1% durante la

época seca presentaron valores que corresponden a cacao bien fermentado. Lo anterior indica que los agricultores que tienen un buen sistema de fermentación lo aplican sin problemas durante los meses lluviosos; sin embargo, en los meses secos a pesar de contar con la infraestructura no produce cacao de buena calidad por la escasez de pulpa y de producción. Es importante hacer incapié en este aspecto, porque inquieta el hecho de que teniendo la capacidad de realizar un buen proceso de fermentación no se logre; lo cual hace pensar en la necesidad de hacer algún estudio en el cual se suministre algunas soluciones para que los agricultores puedan fermentar durante la época seca la masa de cacao por cinco días, sin que los granos se aglomeren demasiado antes de secarlos.

Hay dos categorías donde las muestras presentaron valores de pH y de porcentaje de cenizas dentro del ámbito de cacao bien fermentado, no así las antocianinas. En un caso, número 2, no disminuyeron lo suficiente por lo que se clasifica como cacao mal fermentado, y el otro caso, número 3, se clasificaron como cacao sin fermentar de acuerdo a los ámbitos del Cuadro 4. Estas muestras se presentaron en mayor proporción en el Pacífico Central y la zona Norte, le siguieron la zona Atlántica y por último la zona Sur; además, fue en la época lluviosa cuando se encontró el mayor número de muestras de estas categorías de cacao, con la

excepción del Pacífico Central (Cuadro 6). Estas muestras representaron un porcentaje alto del total analizado. Este tipo de problema se presenta generalmente si las muestras fueron fermentadas sin ser removidas dentro del recipiente o saco que las contuvo; y de ellas se deduce que algunos agricultores que tratan de hacer mejor su proceso de fermentación no lo logran por falta de información o de buen asesoramiento, solo hizo falta la remoción del cacao para permitir la entrada de aire y lograr una mayor oxidación del etanol a ácido acético con el consecuente aumento de temperatura que favorece la actividad de la glicosidasa. Es una lástima que se pierda una buena calidad por un detalle fácil de corregir.

Bin y Samarakhody (1987) encontraron que en la masa de cacao removida diariamente, casi todas las antocianinas se degradan. Aunque los pigmentos no poseen ningún sabor marcado o sabor potencial, la hidrólisis de las antocianinas es importante en la fermentación, puesto que hay una relación inversa entre desarrollo del sabor y el color púrpura retenido, lo que sugiere que las condiciones requeridas para el rompimiento de las antocianinas también son aquellas para la producción de un buen sabor (López, 1986).

Algunas de estas muestras perdieron parte de las

antocianinas pues las enzimas lograron actuar sobre los pigmentos; sin embargo, la reacción se interrumpió cuando se puso a secar el cacao después de tres días de escurrido y el oxígeno inhibió la glicosidasa (Quesnel, 1971). También se presentaron granos con color pardo en algunas secciones, porque al extender el cacao para secarlo hay entrada de oxígeno, el cual oxida algunos polifenoles que lograron ponerse en contacto con la polifenoloxidasas, como consecuencia de la permeabilidad de las células. Quesnel (1971) indicó que el oxígeno penetra al cotiledón hasta el cuarto día de fermentación, con lo que se inicia las reacciones de empardeamiento; entonces si en un proceso bien conducido ocurre la oxidación al cuarto día, en un proceso mal manejado, por ejemplo escurrido en sacos, algunos granos pueden sufrir oxidación dependiendo de otras condiciones, como son la cantidad de masa que se estuviera fermentando o la temperatura alcanzada durante el proceso. Forsyth y Quesnel (1957a) indicaron que si las condiciones de secado son óptimas para la actividad de la polifenol oxidasa, aunque la etapa de fermentación no fuera satisfactoria, se obtendría color marrón pero no gran sabor.

El pH de estas muestras disminuyó a pesar de que no se removió la masa en fermentación, porque se produjo ácido acético, en menor cantidad que en el caso de haberlo removido, y también otros ácidos no volátiles. Además este

comportamiento se encontró en época lluviosa, donde la pulpa es abundante y húmeda, lo cual favoreció todos los cambios que se dieron durante el proceso, pues hay humedad suficiente.

Hubo otras dos categorías con comportamientos comunes, las número 7 y 8, en las que el cacao de acuerdo al pH se clasificó cacao mal fermentado y de acuerdo a las cenizas como cacao bien fermentado; y con respecto a las antocianinas varían en las dos categorías. Las antocianinas mostraron al cacao mal fermentado (número 7), sobre todo durante la época lluviosa, para las muestras de la zona Atlántica, le siguieron las de la zona Sur, las del Pacífico Central y finalmente las de la zona Norte (número 7 del Cuadro 6). Una gran cantidad de los cacaos mostraron valores de antocianina sin fermentar, encontrándose una mayor tendencia en las muestras de la zona Atlántica, luego en la zona Sur, en la zona Norte y finalmente en el Pacífico Central; además, se presentó con mayor frecuencia este comportamiento durante la época lluviosa que la seca (número 8 del Cuadro 6).

Estas muestras sufrieron un escurrido ya que las cenizas migraron, indicando que el embrión murió antes de que el cacao se secara. Sin embargo, la falta de aereación y el reducido número de días no favorecen las reacciones de

acidez e hidrólisis de pigmentos morados. Estas muestras se trataron en época lluviosa lo cual permitió que las cenizas migraran como consecuencia del flujo de líquido entre la pulpa y el cotiledón; y al no haber aire en la pulpa, que estaba bastante húmeda, se retardó la producción de ácido acético por las condiciones anaeróbicas; sin embargo, el embrión muere tardíamente permitiendo a las cenizas difundirse, debido a la alta humedad del medio donde las sustancias logran moverse. A pesar de esto, no hay oportunidad de que la glicosidasa actúe sobre los pigmentos ya que es poco el tiempo que permanecen en el saco después de que muere el embrión antes de secar el cacao al sol; además, la temperatura no es la óptima para la enzima. La categoría número 7 mostró el cacao mal fermentado, o sea que la pigmentación es algo baja, pero esto puede deberse a un híbrido con cruce albino, ya que los otros parámetros indican que este cacao no pudo recibir un buen proceso de fermentación como para reducir los pigmentos.

Algunas muestras presentaron comportamientos variados, representando un porcentaje pequeño de los cacaos analizados, categorías número 4, 5, 6, 9, 10, 11, 11 y 12. El caso en que las antocianinas fueron bajas, como si hubiese sido bien fermentada pero alguno de los otros dos parámetros se encontró dentro del ámbito para cacao sin fermentar, pudo deberse a los híbridos, como ya se ha mencionado,

algunos de los cuales pueden tener un alto porcentaje de cruce albino, lo que provoca un cacao con baja pigmentación a pesar de que no ha sido fermentado.

La mayoría de las muestras presentaron los tres indicadores de calidad dentro del ámbito de cacao sin fermentar, donde las muestras de las zonas Sur y Norte tuvieron mayor incidencia y finalmente las de la zona Atlántica, esta tendencia fue exclusiva de la época seca (número 13 del Cuadro 6). En esta época, por lo general, la pulpa es poca y los agricultores recogen poco cacao, por lo que prefieren lavarlo y secarlo. También hay influencia del factor económico, los productores para obtener dinero lo más pronto posible únicamente lo lavan y secan, para no perder tres o más días en el beneficiado y obtener la misma cantidad de dinero que si no lo hubieran hecho.

Un alto porcentaje de las muestras se clasificó en esta última categoría, en la cual el agricultor no le hace ningún tratamiento al cacao, o en las categorías 7 y 8, en las cuales el tratamiento fue bastante deficiente, pues lo único que cambió en el grano es el porcentaje de cenizas. Lo anterior confirmó que los agricultores dan un mal manejo al cacao y que debe darse la voz de alerta para iniciar las modificaciones necesarias para estimularlos a producir cacao bien fermentado.

5. CONCLUSIONES

- Los análisis de peso seco del grano y de porcentaje de grasa no sirven para evaluar el grado de fermentación del mismo, aún así, son pruebas valiosas desde el punto de vista de rendimiento industrial. Estas características dependen básicamente de la genética más que del proceso de beneficiado.

- Los cacaos acriollados sufren cambios más marcados durante el proceso de fermentación que los forasteros. Parece que hay una relación entre el porcentaje de grasa y la capacidad de fermentación de los diferentes genotipos, así a mayor porcentaje de grasa mayor impedimento para que ocurra la fermentación en forma adecuada.

- Los cacaos acriollados tienen un pH más bajo, por lo tanto una acidez mayor, que los forasteros.

- El contenido de nitrógeno total no varía entre los genotipos estudiados ni entre las altitudes. No obstante, sí se ve afectado por el proceso de fermentación, el cual provoca una disminución del mismo.

- Una cantidad alta de nitrógeno soluble antes de iniciar la fermentación favorece la difusión del componente nitrogenado y no su acumulación durante el beneficiado.

- La fermentación provoca una disminución del porcentaje de grasa, la cual es más pronunciada cuando las fermentaciones ocurren a una altitud de 40 msnm.

- Los genotipos acriollados poseen menor porcentaje de grasa que los forasteros, ya sea que estén o no fermentados.

- Los polifenoles totales, dentro de los cuales están incluidos los taninos y las antocianinas, tienden a acumularse en mayor proporción en altitudes al nivel del mar (40 msnm) cuando están sin fermentar; sin embargo, es en esta zona donde el cacao sufre las mayores pérdidas de estos compuestos durante la fermentación.

- Los cambios son más pronunciados cuando la fermentación se lleva a cabo al nivel del mar que cuando se realizan en zonas con mayor altitud. Es más ventajoso fermentar a altitudes cercanas a los 40 msnm que a los 600 msnm.

- Se considera que la prueba de corte no es una prueba en la que se pueda confiar sin aplicar otros criterios

complementarios, máxime si se aplica la indicada en la Norma Oficial, en la que únicamente se clasifica en tres colores.

- El pH, porcentaje de ceniza y el contenido de antocianinas, en conjunto, son los mejores indicadores del grado de beneficiado de los granos de cacao secos.

- El análisis del contenido de ceniza es un parámetro que ayuda a medir la eficiencia de las temperaturas de fermentación, las cuales aumentan conforme la localidad se encuentre más cerca del nivel del mar.

- El cacao de la zona Sur presenta una calidad inferior al de todas las otras zonas. El Pacífico Central es la que produce un cacao de mejor calidad, aunque requiere mejorar sus sistemas de fermentación.

- La época durante la cual se lleva a cabo la fermentación influye directamente sobre la calidad del grano. Durante la época lluviosa se produce cacao de mejor calidad que durante la época seca.

- Un 12% de la producción total de donde se tomó las muestras fermentan bien el cacao y corresponde al cacao beneficiado por algunos productores y cooperativas en forma aislada que tienen sistemas de fermentación adecuados .

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudiar el método de montones, gavetas Rohan y sacos, de manera que se siga una fermentación desde el inicio hasta el secado, practicando diferentes remociones y evaluar el cacao con los tres parámetros químicos propuestos en este estudio. De esta forma se determinará si estos indicadores sirven para diagnosticar las fallas en la fermentación.

- Sería recomendable repetir la evaluación de las zonas cacaoteras al cabo de dos años para evaluar las mejoras impuestas en el manejo del cacao, tanto a nivel agronómico como del tratamiento post cosecha.

- Se recomienda estudiar la relación existente entre el porcentaje de taninos que permanecen en el grano después de la fermentación y el amargor y astringencia del mismo; existe la posibilidad de sustituir la prueba organoléptica por un análisis de taninos.

- Es recomendable hacer más pruebas para corroborar si realmente el porcentaje de grasa influye la capacidad o rapidez de fermentación de ciertos genotipos.

- Se recomienda llevar a cabo un estudio para mejorar las condiciones de la fermentación durante la época seca, para que los granos se puedan fermentar cinco días sin que se aglomeren.

- Se sugiere que los agricultores se asocien, para que establezcan sistemas adecuados de fermentación que de otra forma no podrían conseguir, además la masa a fermentar sería mayor con lo que se favorecería la temperatura del proceso.

6. BIBLIOGRAFIA

- 1) ALVARADO, J., VILLACIS, F. y ZAMORA, G. 1983. Efecto de la época de cosecha sobre la composición de cotiledones crudos y fermentados de dos variedades de cacao y fracciones de cascarilla. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 33(2):337.
- 2) ANONIMO. 1962. Cocoa bean test. Hamburg: Gordian Publishing. p.74.
- 3) ARROYO, G. 1987. Estudio de la fermentación del cacao (Theobroma cacao) en pequeños montones en tres lugares de la Zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Turrialba, Universidad de Costa Rica. 89p.
- 4) BAIGRIE, B. y RUMBELOW, S. 1987. Investigation of flavour defects in Asian cocoa liquors. J. Sci. Food Agric. 39(4):357.
- 5) BAREL, M., GUYOT, B. y VINCENT, J.C. 1983. Les fractions protéiques du cacao avant et après torrefactions: Influence de la fermentation. Café, Cacao, Thé. 27(2): 127.
- 6) BAREL, M. 1987. Délai d'écabossage: Influence sur les rendements et la qualité du cacao marchand et du cacao torréfié. Café, Cacao, Thé. 31(2):141.
- 7) BIEHL, B., PASSERN, U. y PASSERN, D. 1977. Subcellular Structures in fermenting cocoa beans: Effect of aeration and temperature during seed and fragment incubation. J. Sci. Food Agric. 28:41.
- 8) BIEHL, B. y PASSERN, D. 1982. Proteolysis during fermentation-like incubation of cocoa seeds. J. Sci. Food Agric. 33:1280.
- 9) BIEHL, B.; BRUNNER, E.; PASSERN, D.; QUESNEL, V. y ADOMAKO, D. 1985. Acidification, proteolysis and flavour potential in fermenting cocoa beans. J. Sci. Food Agric. 36(7):83.

- 10) BIEHL, B. 1987. Cocoa fermentation and problem of acidity, over-fermentation and low cocoa flavour. In Pushparajah, E. y Poh Soom, C., eds. Cocoa and coconuts: Progress and outlooks. p.56.
- 11) BIN, M. y SAMARAKHODY, R. 1987. Cocoa fermentation-Effect of surface area, frequency of turning and depth of cocoa masses. In Pushparajah, E. y Poh Soom, C., eds. Cocoa and coconuts: Progress and outlooks. p.553.
- 12) BRACCO, U.; GRAILHE, N. ROSTAGNO, W. y EGLI, R. 1969. Analytical evaluation of cocoa curing in the Ivory Coast. J. Sci. Food Agric. 20:713.
- 13) BRENTON, W. 1974. Enciclopedia Barsa. Chicago: Encyclopedia Britannica, Inc.. V.4. p.136.
- 14) BROADHURST, R. y JONES, W. 1978. Analysis of condensed tanins using acidified vanillin. J. Sci. Food Agric. 29:778.
- 15) CARR, J.G. y DAVIES, D. 1978. Cocoa fermentation in Ghana and Malaysia. In Cocoa Producer's Alliance. International Cocoa Research Conference. Colombia: 7, p.573.
- 16) CASCANTE, M. 1984. Determinación de la flora microbiana y algunas variaciones en la fermentación de almendras de cacao (Theobroma cacao). Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. San José, Universidad de Costa Rica. 111p.
- 17) THE COCOA, CHOCOLATE AND CONFECTIONERY ALLIANCE. 1984. Cocoa Beans. 3ed. Inglaterra. 19 p.
- 18) COSTA RICA. 1989. Norma Oficial de Calidad para Cacao Seco en Grano. La Gaceta, San José: Setiembre 7: 5.

- 19) CROS, E. ROULY, M.; VILLENEUVE, F. y VINCENT, J. 1982. Recherche d'indice de fermentation du cacao: II Estimation de la matière colorante rouge des fèves de cacao. *Café, Cacao, Thé*. 26(2):115.
- 20) CROS, E., VILLENEUVE, F. y VINCENT, J.C. 1982. Recherche d'indice de fermentation du cacao: Evolution des tanins et des phénols totaux de la fève. *Café, Cacao, Thé*. 26(2):109.
- 21) CROS, E., VILLENEUVE, F. y VINCENT, J. 1984. Evolution des composés polyphénoliques du cacao au cours de la fermentation en relation avec la qualité. *In* Cocoa Producer's Alliance. International Cocoa Research Conference. Colombia: 9, p.115.
- 22) CHASSEVENT, F. y d'ORNANO, M. 1966. La détermination photométrique des pigments du cacao: Essais de la méthode internationale de l'O.I.C.C. et de quelques variantes. *Café, Cacao, Thé*. 10(3):243.
- 23) CHICK, W. MAINSTONE, B. y WAI, S. 1981. Mitigation of cocoa acidity in Peninsular Malaysia. *In* Cocoa Producer's Alliance. International Cocoa Research Conference. Colombia: 8, p.759.
- 24) DESROSIERS, R. y MOLINA, A. 1962. Factores que afectan la calidad del cacao. *Cacaotero*. 5(1):4.
- 25) DeWITT, K. 1956. Nitrogen metabolism in fermenting cacao. A report in cocoa research, 1955-56. Trinidad. p.54.
- 26) DIAZ, R. 1989. Características químicas del suelo de la plantación experimental del CATIE en Turrialba. Turrialba, Costa Rica. Comunicación personal.
- 27) DOUGAN, J. 1981. Methods for monitoring degree of aeration and the production and dissimilation of alcohol, acetic acid, lactic acid during cocoa fermentation. *In* Cocoa Producer's Alliance. International Cocoa Research Conference. Colombia: 8th, p.831.

- 28) ECUADOR. 1975.- Cacao en grano. Determinación de humedad. Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. 3p.
- 29) EDGE, N.E. y OWOLABI, C.A. 1972. Quality of Nigerian comercial cocoa beans. Turrialba. 22(2):150.
- 30) ENRIQUEZ, G. 1982. La cura o beneficio del cacao: Curso corto. Turrialba: CATIE. 96 p.
- 31) ----- . 1983. El cultivo de cacao. Turrialba: CATIE. 162p.
- 32) ----- . 1989. Maduración de mazorcas de acuerdo a la altura y características de algunos genotipos de cacao. San José. Comunicación personal.
- 33) FORSYTH, W.G. 1949. A method for studying the chemistry of cocoa fermentation. Nature. 164 (4157): 25.
- 34) ----- . 1952. Cacao polyphenols substances. 2. Changes during fermentation. Biochem.: 51:516.
- 35) FORSYTH, W. y QUESNEL, V. 1957a. Cacao glycosidase and colour changes during fermentation. J. Sci. Food Agric. 8:505.
- 36) ----- . 1957b. Cacao Polyphenolic substances: The anthocianin pigments. Biochem. J. 65:177.
- 37) ----- y ROBERTS, J. 1958. The interaction of polyphenols and proteins during cacao curing. J. Sci. Food Agric. 9:181.
- 38) HARDY, F. 1961. Manual del cacao. Turrialba. Costa Rica. IICA. p.200.
- 39) JIMENEZ, L.A. 1989. Revisión bibliográfica sobre el tratamiento poscosecha del cacao. San José: CITA. 49p.

- 40) LEHRMAN, D. y PATTERSON, G. 1983. Cocoa fermentation. *Biotechnology*. 5:529.
- 41) LEES, R. 1969. Manual de análisis de alimentos. Zaragoza, Acribia. 231p.
- 42) LOPEZ, A. 1979. Fermentation and organoleptic quality of cacao as affected by partial removal of pulp juice from the beans prior to curing. *Rev. Theobroma*. 9:25.
- 43) LOPEZ, A., FAJARDO, L. y HUFENUSSLER, M. 1980. Difusao de substancia química da testa almendoas do cacau. Centro de pesquisas do cacau. Informe técnico. p. 168.
- 44) LOPEZ, A. 1983. Factors associated with cacao bean acidity and the possibility of its reduction by improved fermentation. *Rev. Theobroma*. 13(3):233.
- 45) LOPEZ, A. y PASSOS, 1984. Factors influencing cacao bean acidity- fermentation, drying and microflora. *In*. Cocoa Producer's Alliance. International Cocoa Research Conference. Colombia: 9. p.701.
- 46) LOPEZ, A. 1984. Limitacao da "prova de corte" no controle de qualidade do cacau comercial. *Rev. Theobroma*. 14(3):199.
- 47) ----- . 1986. Chemical changes occurring during the processing of cacao. *In* Dimick, P. *Biotechnology*. U.S.A.: College of Agriculture of Pennsylvania State University. p.19.
- 48) MADRIZ, J. 1987. Estudio de la fermentación del cacao en Gavetas Rohan en tres fincas de la Zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Turrialba, Universidad de Costa Rica. 79 p.
- 49) MALESPIN, M. *et al.* 1982. El cacao. Managua. Ministerio de desarrollo agropecuario y Reforma Agraria. IICA: Serie de Publicaciones Miscelánea. (381):p.48.

- 50) MARAVALHAS, N. 1970. Origin of the slaty and compact violet beans on raw cocoa. *Rev Theobroma*. 25:242.
- 51) MARTIN, R. 1987. Chocolate. *Advances in food research*. 31: 211.
- 52) MEJIA, L. 1950. El efecto de las revolturas sobre la variación de la temperatura y del pH durante la fermentación del cacao. Tesis M. Sc. Turrialba. IICA. 32 p.
- 53) PARDO, J. 1988. Herencia de la capacidad de fermentación, peso medio de almendra, contenido de testa y porcentaje de grasa en el cacao (Theobroma cacao L.). Turrialba. Tesis de M. Sc. Universidad de Costa Rica-CATIE. 170p.
- 54) PERSONAL TECNICO DEL PROGRAMA DE CACAO. 1963. Finca de cacao La Lola. Cacao. Centro Interamericano del cacao. 8(2):29p.
- 55) POWELL, B. 1982. Calidad de las almendras de cacao: necesidades del fabricante. *Cacaotero colombiano*. 20: 24.
- 56) QUESNEL, V. 1965. Agents inducing the death of cocoa seeds during fermentation. *J. Sci. Food Agric*. 16: 441.
- 57) QUESNEL, V. 1971. Química y tecnología de la cura del cacao. *Boletín informativo*. Venezuela. 8(2). 17p.
- 58) RAMIREZ, J.J. 1988. Estudio de la fermentación del cacao (Theobroma cacao) mediante cuatro sistemas de fermentación en cuatro zonas cacaoteras de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Turrialba. Universidad de Costa Rica. 142 p.
- 59) RAMIREZ, J.M. 1988. Comportamiento de la producción de cacao en Costa Rica, a través del año. Costa Rica: Costa Rican Cocoa Products. Comunicación personal.

- 60) ROHAN, T. 1964. El beneficio del caco bruto destinado al mercado. Roma: FAO, Estudios Agropecuarios. (60): 150p.
- 61) ROHAN, T. y STEWART, T. 1967. The precursors of chocolate aroma: Production of free amino acids during fermentation of cocoa beans. J. Food Sci. 32(4):395.
- 62) ROMEAU, A. 1980. Acidez libre (pH) em amendoas de cacau da região sul-baiana. In Centro de pesquisas do cacau (Itabuna, Bahia). Informe técnico, CEPLAC. Brazil. p.241.
- 63) SEIKI, K. 1973. Chemical changes during cocoa bean fermentation using the tray method in Nigeria. Rev. Int. Choc. 28(2):38.
- 64) SHAMSUDDIN, S. y DIMICK, P. 1986. Qualitative and quantitative measurement of cacao bean fermentation. In Dimick, P. Biotechnology. U.S.A.: College of Agriculture of Pennsylvania State University. p.55.
- 65) SORIA, J. 1966. Obtención de clones de cacao por el método de selección. Turrialba. 16(2):119.
- 66) SPOLADORE, D. FEIJAO, J.; DE MORAES, R. y TEIXEIRA, M. 1983. Composição química de amendoas fermentadas de cacau. Bragantia. 42(4)249.
- 67) SOTO, J. y VARGAS, V. 1989. Investigación de métodos de fermentación de cacao (Theobroma cacao L) para pequeños agricultores en seis localidades de Costa Rica. Turrialba. Universidad de Costa Rica. Tesis de Ing. Agronómica. 80p.
- 68) VARGAS, J. 1988. Comparación de la fermentación de pequeñas cantidades (25, 37,5 y 50 Kg), de cacao (Theobroma cacao) en tres diferentes altitudes de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Turrialba. Universidad de Costa Rica. 102 p.

- 69) VARGAS, J. y CUBILLO, J. 1989. Seminario Regional sobre "Tecnología post cosecha y calidad mejorada del cacao", 1º, Turrialba. Situación actual de la tecnología pos-cosecha y calidad de cacao en Costa Rica. Turrialba: CATIE. 11 p.
- 70) VIVAS, J. 1978. Estudio de algunas características químico físicas en almendras de cacao en Venezuela. In Cocoa producer's Alliance. Conferencia Internacional de Investigación en Cacao. Colombia: 7a, p.611.
- 71) WEISSBERGER, W. KAVANAGH, T. y KEENEY, P. 1971. Identification and quantification of several nonvolatile organic acids of cocoa beans. J. Food Sci. 36:877.
- 72) WILLIAMS, S. ed. 1984. Analytical methods of AOAC. 14 ed. U.S.A.: AOAC inc. p.187,199.
- 73) WOOD, G. 1980. Cocoa. Londres, Inglaterra: Longman Group. p.230.
- 74) ZAK, D. y KEENEY, P. 1976. Changes in cocoa proteins during ripening of fruit, fermentation and further processing of cocoa beans. J. Agric. Food Chem. 24(3):483.

APENDICE

APENDICE A
Norma Nacional para la clasificación
del cacao seco en grano

PARAMETROS	EXTRA	I	II	III
% HUMEDAD (max)	7,5	7,5	7,5	8,0
PESO PROMEDIO (g)	1,2	1,2	1,1	1,0
FERMENTADO % (min)	80	60	35	20
GRANO VIOLETA % (max)	15	20	25	40
GRANO PIZARROSO % (max)	5	15	20	25
GRANO GERMINADO % (max)	0	2	3	3
GRANO PLANO O MULTIPLE % (max)	1	1	2	3
MATERIA EXTRAÑA % (max)	0	0	0	1
GRANO MOHOSO % (max)	0	2	3	4 (*)
GRANO INFESTADO % (max)	0	2	3	3 (*)

La suma de los marcados con (*) nunca puede ser superior al 6% (Ministerio de Economía, Industria y Comercio, 1988).

APENDICE B

Comportamiento de la producción de cacao, su
valor comercial y precio promedio pagado al
productor, en el período 1978-1988 (Costa Rica).

AÑO	PRODUCCION		PRECIO PROMEDIO AL PRODUCTOR ¢/TM
	VOLUMEN (TM)	VALOR BRUTO* (MILLONES DE COLONES)	
1978	10381	238,2 (US \$27,7 mill)	24.124 (US \$2.805)
1979	10365	217,6	21.958
1980	5226	102,0	20.574
1981	5049	179,0	35.504
1982	3546	179,8 (US \$4,5 mill)	59.593 (US \$1.500)
1983	2161	159,3	82.657
1984	4139	414,2	105.006
1985	4451	428,5	98.210
1986	4836	373,6 (US \$6,7 mill)	95.000
1987	3592	385,2	105.010
1988	3976	427,8 (US \$5,3 mill)	85.000 (US \$1.119)

* Tipo de cambio promedio ponderado: 1978 (¢ 8,60/US); 1982 (¢39,77/US); 1986 (¢ 56,08/US); 1988 (¢ 75,93/US)

Fuente: SEPSA. Con base en cifras de producción agropecuaria del Banco Central de Costa Rica.

APENDICE C

Estimación del área cultivada (ha) de cacao por
regiones (1987)

REGION	SIEMBRAS NUEVAS	PRODUCIENDO	ABANDONADAS	TOTAL
Huetar Norte	870	450	50	1 370
Chorotega	80	1 500	1 200	2 780
Huetar Atlántica	1 434	5 400	9 800	16 643
Brunca	1 723	3 000	0	4 723
Pacífico Central	260	0	0	260
Central	140	55	0	195
TOTAL	4 507	10 405	11 050	25 962

Fuente: M.A.G., 1988

Diferencias existentes entre el cacao fermentado y sin fermentar para los diez análisis aplicados a cuatro genotipos en dos altitudes diferentes.

Análisis	Peso seco		% ceniza	
	La Lola (40msnm)	Turrialba (600 msnm)	La Lola (40msnm)	Turrialba (600 msnm)
Genotipo				
Criollo	-0,03	0,02	- 0,65	-0,26
Trinitario	0,02	0,17	- 1,24	-0,17
Forastero	0,33	0,25	- 0,79	-1,14
Catongo	0,01	0,02	- 1,18	-0,39

Análisis	pH		Acidez Total	
Genotipo				
Criollo	-1,58	-1,65	3,42	4,32
Trinitario	-1,33	-1,37	1,61	3,41
Forastero	-1,69	-1,91	3,01	1,94
Catongo	-1,09	-1,64	0,96	1,00

Análisis	% Nitrógeno total		% Nitrógeno soluble	
Genotipo				
Criollo	-0,32	-0,30	0,29	0,28
Trinitario	-0,27	-0,36	0,25	0,34
Forastero	-0,20	0,03	0,34	-0,90
Catongo	-0,36	-0,08	0,13	0,40

Análisis	% Grasa		% Polifenoles totales	
Genotipo				
Criollo	-5,65	-5,30	-5,77	-2,49
Trinitario	-4,09	-3,65	-2,23	-0,65
Forastero	-5,34	2,53	-1,49	2,16
Catongo	3,97	-4,96	-1,38	-1,01

Análisis	% Taninos		Antocianina	
Genotipo				
Criollo	-6,17	-2,38	-2,36	-0,67
Trinitario	-2,67	-0,90	-0,92	-1,09
Forastero	-2,00	-1,96	-0,90	-1,05
Catongo	-2,16	-2,76	-0,34	-0,16

Valores negativos indican pérdida de la sustancia en referencia cuando se fermenta el cacao.

APENDICE D

Valores promedio* para cada uno de los análisis químicos de los diferentes genotipos fermentados y sin fermentar. Costa Rica, 1989.

Fuente de variación		Peso seco ±0,001	% ceniza ±0,01	pH ±0,05	Acidez total ±0,02	Nitrógeno total ±0,08	Nitrógeno soluble ±0,03	% Grasa ±0,01	% Polifenoles tot. ±0,02	% Taninos ±0,08	Antocianinas. ±0,001
Criollo	F	1,397 c	3,08 c	5,05 h	5,52 a	1,94 c	0,82 b	48,00 g	3,12 g	2,20 d	0,133 f
	SF	1,400 c	3,54 a	6,67 d	1,65 d	2,25 a	0,54 e	53,47 d	7,25 a	6,47 a	1,645 a
Trinitario	F	1,590 a	2,82 d	5,36 f	4,32 b	1,89 c	0,89 a	49,73 f	3,80 f	2,31 d	0,092 g
	SF	1,495 b	3,53 a	6,71 c	1,82 d	2,21 ab	0,93 a	53,60 d	5,24 c	4,12 bc	1,095 c
Porastero	F	1,262 d	2,43 f	5,14 g	4,12 b	2,02 C	0,54 E	54,72 C	4,94 D	2,01 DE	0,177 E
	SF	0,973 f	3,40 b	6,94 b	1,65 d	2,11 bc	0,82 b	56,12 a	4,61 e	3,99 c	1,155 b
Catongo	F	1,169 e	2,57 e	5,47 e	2,67 c	1,98 c	0,80 bc	55,00 b	3,94 f	1,67 e	0,108 fg
	SF	1,151 e	3,36 b	6,84 b	1,69 d	2,20 ab	0,53 e	51,94 e	5,44 c	4,13 bc	0,359 d

Letras iguales entre columnas no presentan diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$).

* Los promedios se calcularon con las muestras de Turrialba y La Lola, correspondiente a cada genotipo y fermentación, que se encuentran en los Apéndice del M al V.

APENDICE B

Valores promedio* para los diez análisis realizados a cacao fermentado y sin fermentar en dos altitudes diferentes. Costa Rica, 1989.

Fuente de variación		Peso seco	% ceniza	pH	Acidez total	Nitrógeno total	Nitrógeno soluble	% Grasa	% Polifenoles totales	% Taninos	Antocianinas
		±0,001	±0,01	±0,05	±0,02	±0,08	±0,03	±0,01	±0,02	±0,08	±0,001
40 msnm	F	1,324 b	2,55 d	5,28 c	4,18 a	1,98 c	0,77 b	50,35 d	3,01 d	1,66 d	0,113 d
	SF	1,241 c	3,52 a	6,70 b	1,93 b	2,26 a	0,52 c	53,12 c	5,88 a	4,92 a	1,242 a
600 msnm	F	1,385 a	2,90 c	5,23 d	4,14 a	1,94 c	0,76 b	53,38 b	4,89 c	2,43 c	0,142 c
	SF	1,268 c	3,40 b	6,87 a	1,47 c	2,12 b	0,89 a	54,45 a	5,39 b	4,44 b	0,884 b

Letras iguales entre columnas no presentan diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$).

* Los promedios se calcularon con las muestras de los cuatro genotipos correspondientes a cada altitud y fermentación, que se encuentran en los Apéndices del M al V.

APENDICE F

Valores promedio* para los diez análisis realizados a cuatro genotipos de cacao en dos altitudes diferentes. Costa Rica, 1989.

Fuente de variación		Peso seco	% ceniza	pH	Acidez total	Nitrógeno		% Grasa	% Polifenoles totales	% Taninos	Antocianinas
		±0,001	±0,01	±0,05	±0,02	total ±0,08	soluble ±0,03	±0,01	±0,02	±0,08	±0,001
Criollo	40msnm	1,448 b	3,01 c	5,80 f	3,64 a	2,14 a	0,67 c	48,97 e	5,43 a	4,95 a	1,298 a
	600msnm	1,349 c	3,62 a	5,92 e	3,53 a	2,05 ab	0,69 c	52,51 c	4,94 b	3,72 b	0,480 e
Trinitario	40msnm	1,535 a	3,20 b	5,99 d	3,18 b	2,08 ab	0,64 cd	51,86 d	4,20 c	2,98 d	0,573 d
	600msnm	1,550 a	3,16 b	6,08 c	2,96 c	2,02 ab	1,18 a	51,47 d	4,84 b	3,46 bc	0,613 c
Porastero	40msnm	1,088 e	2,99 c	6,00 d	3,21 b	2,19 a	0,66 c	51,85 d	4,08 c	2,84 d	0,594 cd
	600msnm	1,147 d	2,84 e	6,08 c	2,55 d	1,94 b	0,70 c	58,99 a	5,46 a	3,15 cd	0,738 b
Catongo	40msnm	1,059 f	2,94 d	6,19 a	2,18 e	2,08 a	0,61 d	54,25 b	4,05 c	2,39 e	0,245 f
	600msnm	1,261 e	3,00 cd	6,12 b	2,18 e	2,10 a	0,72 bc	52,69 c	5,32 a	3,41 bc	0,222 f

Letras iguales entre columnas no presentan diferencias estadísticas significativas (P<0,05).

* Los promedios se calcularon con las muestras de cacao fermentado y sin fermentar correspondientes a cada genotipo y altitud, que se encuentran en los Apéndices del M al V.

APENDICE G

Régimen promedio mensual de
lluvias en cuatro zonas del
país en dos épocas diferentes.

Zona	Epoca	
	Julio - Noviembre 1988 (mm)	Diciembre 1988- Abril 1989 (mm)
Atlántica	274	260
Norte	408	273
Sur	556	117
Pacífico Central	503	89

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica, 1989.

APENDICE H

Temperaturas promedio para
cuatro zonas del país en dos
épocas del año. Costa Rica,
1989.

Zona	Epoca	
	Julio - Noviembre 1988 (°C)	Diciembre 1988- Abril 1989 (°C)
Atlántica	24,7	24,4
Norte	24,3	25,0
Sur	26,2	28,1
Pacífico Central	24,2	27,8

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica, 1989.

APENDICE I

Constitución química aproximada
de los suelos de la finca
La Lola y del CATIE en
Turrialba.

Zona	pH	P μg/mL	meq/100 mL de suelo			N ug/mL
			Ca	Mg	K	
Turrialba	4,7	12,4	4,72	1,19	0,24	-
La Lola	6,1	2 - 9	22,0	6,0	0,40	0,15

Fuente: Laboratorio de suelos del CATIE. 1989.

APENDICE J

Resultados de los análisis practicados
a dos genotipos, fermentados y sin
fermentar, de Veré de Moravia. Costa
Rica, 1989.

Análisis	Trinitario		Forastero
	Sin fermentar	Sin fermentar	Fermentado
Peso seco ±0,001	0,709	0,667	0,801
% ceniza ±0,01	3,78	4,10	3,49
pH ±0,05	6,43	6,69	5,98
Acidez total ±0,02	1,18	0,96	3,98
% nitrógeno total ±0,08	2,31	2,27	2,04
% nitrógeno soluble ±0,03	0,59	0,60	0,94
% grasa ±0,01	52,69	56,67	54,68
% polifenoles totales ±0,02	5,58	8,45	4,11
% taninos ±0,08	4,58	3,73	1,35
Antocianinas ±0,001	2,610	2,793	0,269

APENDICE K

Resultados del puntaje de la prueba de corte realizada a cuatro genotipos de cacao, fermentados y sin fermentar de dos altitudes diferentes sobre el nivel del mar.

	600 msnm		40 msnm	
	Sin fermentar	Fermentado	Sin fermentar	Fermentado
Criollo	291	459	413	485
Trinitario	264	465	176	470
Forastero	288	413	271	458
Catongo	320	385	271	448

APENDICE L

Resultados del análisis de humedad practicados a cuatro genotipos de cacao, fermentados y sin fermentar, de dos altitudes diferentes sobre el nivel del mar.

	600 msnm		40 msnm	
	Sin fermentar	Fermentado	Sin fermentar	Fermentado
Criollo	5,47	5,44	4,90	4,56
Trinitario	4,80	6,39	4,91	4,40
Forastero	5,26	6,53	5,23	4,89
Catongo	5,03	3,39	4,77	3,82

APENDICE LL

Promedios de los análisis de humedad llevados a cabo a muestras recogidas de los agricultores de cuatro zonas del país en dos épocas del año.

Zona/Epoca	Lluviosa ±0,04	Seca ±0,04
Atlántica	4,89	5,36
Norte	6,71	6,10
Sur	7,89	5,65
Pacífico C.	6,37	5,45

APENDICE M

Peso en gramos de cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentados y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica.

Genotipo	Fermentado ±0,001		Sin fermentar ±0,001	
	40	600	40	600
Criollo	1,434c	1,360d	1,462c	1,337d
Trinitario	1,544b	1,636a	1,525b	1,465b
Forastero	1,251e	1,272e	0,925g	1,022f
Catongo	1,065f	1,272e	1,053f	1,250e

Letras iguales no presentan diferencias significativas la prueba de Least Square Means (P<0,05).

APENDICE N

Porcentaje de ceniza correspondiente a cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentados y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica.

Genotipo	Fermentado ±0,01		Sin fermentar ±0,01	
	40	600	40	600
Criollo	2,68h	3,48cb	3,34d	3,75a
Trinitario	2,58i	3,07f	3,82a	3,24e
Forastero	2,60hi	2,26j	3,39d	3,40c
Catongo	2,35j	2,80g	3,53b	3,19e

Letras iguales no presentan diferencias significativas la prueba de Least Square Means ($p < 0,05$).

APENDICE N

Valores de pH correspondientes a cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentados y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica

Genotipos	Fermentado ±0,05		Sin fermentar ±0,05	
	40	600	40	600
Criollo	5,02l	5,09k	6,59f	6,74d
Trinitario	5,32i	5,40h	6,65e	6,77d
Forastero	5,15j	5,12jk	6,84c	7,03a
Catongo	5,64g	5,30i	6,73d	6,94b

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

APENDICE O

Acidez total, mL de NaOH 0,1M/g de cacao, correspondiente a cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentado y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica

Genotipos	Fermentado ±0,02		Sin fermentar ±0,02	
	40	600	40	600
Criollo	5,35b	5,69a	1,94h	1,37jk
Trinitario	3,98d	4,67c	2,37g	1,26k
Forastero	4,72c	3,52e	1,71i	1,59ij
Catongo	2,65f	2,68f	1,70i	1,68i

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

APENDICE P

Porcentaje de nitrógeno total correspondiente a cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentados y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica

Genotipo	Fermentado ±0,08		Sin fermentar ±0,08	
	40	600	40	600
Criollo	1,98bc	1,90c	2,30a	2,20ab
Trinitario	1,94c	1,84c	2,22b	2,20ab
Forastero	2,09b	1,96bc	2,29a	1,92c
Catongo	1,90c	2,06bc	2,26ab	2,14b

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

APENDICE Q
 Porcentaje de nitrógeno soluble
 correspondiente a cuatro genotipos de
 cacao (Theobroma cacao), fermentados y
 sin fermentar, de dos altitudes de
 Costa Rica

Genotipo	Fermentado		Sin fermentar	
	40 ±0,03	600	40 ±0,03	600
Criollo	0,82ef	0,83e	0,53ij	0,55hi
Trinitario	0,76f	1,01c	0,52j	1,35a
Forastero	0,84e	0,25k	0,49j	1,15b
Catongo	0,67g	0,93d	0,54ij	0,52i

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

APENDICE R

Porcentaje de grasa correspondiente a
 cuatro genotipos de cacao (Theobroma
 cacao), fermentados y sin fermentar,
 de dos altitudes de Costa Rica.

Genotipo	Fermentado		Sin fermentar	
	40 ±0,01	600	40 ±0,01	600
Criollo	46,14h	49,86g	51,79f	55,16c
Trinitario	49,82g	49,65fg	53,90d	53,30d
Forastero	49,18g	60,26a	54,52d	57,73b
Catongo	56,24bc	53,76d	52,62e	51,62f

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

APENDICE S

Porcentaje de polifenoles totales correspondientes a cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentados y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica.

Genotipos	Fermentado		Sin fermentar	
	40 ±0,02	600	40 ±0,02	600
Criollo	2,55i	3,70g	8,32a	6,19c
Trinitario	3,09h	4,51ef	5,32d	5,16d
Forastero	3,34h	6,54b	4,83e	4,38f
Catongo	3,06h	4,82e	5,04d	5,83c

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

APENDICE T

Porcentaje de taninos condensables en cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentados y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica.

Genotipos	Fermentado		Sin fermentar	
	40 ±0,08	600	40 ±0,08	600
Criollo	1,87gf	2,53e	8,04a	4,91b
Trinitario	1,62gh	3,01e	4,34cd	3,91d
Forastero	1,84gf	2,17f	3,84d	4,13d
Catongo	1,31h	2,03f	3,47d	4,79bc

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

APENDICE U

Valores de absorbancia correspondientes a los contenidos de antocianinas de cuatro genotipos de cacao (Theobroma cacao), fermentados y sin fermentar, de dos altitudes de Costa Rica.

Genotipos	Fermentado		Sin fermentar	
	40 ±0,001	600	40 ±0,001	600
Criollo	0,120ij	0,147i	2,476a	0,814e
Trinitario	0,114j	0,069k	1,033d	1,157c
Forastero	0,143i	0,212h	1,044d	1,265b
Catongo	0,074jk	0,142i	0,416f	0,302j

Letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Least Square Means ($P < 0,05$).

