

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA FERMENTACIÓN EN LA CALIDAD DEL GRANO DE CACAO TRINITARIO EN CALUCO, SONSONATE, EL SALVADOR

POR

ISRAEL ANDRÉS STEINAU DUEÑAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA FERMENTACIÓN EN LA CALIDAD DEL GRANO DE CACAO TRINITARIO EN CALUCO, SONSONATE, EL SALVADOR

POR

ISRAEL ANDRÉS STEINAU DUEÑAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA FERMENTACIÓN EN LA CALIDAD DEL GRANO DE CACAO TRINITARIO EN CALUCO, SONSONATE, EL SALVADOR

POR

ISRAEL ANDRÉS STEINAU DUEÑAS

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M.SC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. AGR. M.SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. AGR. M.SC. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

ING. AGR. M.SC. FIDEL ÁNGEL PARADA BERRÍOS

DOCENTES DIRECTORES

SAÚL OVIDIO GONZÁLEZ ROSALES, MS.

LIC. VIANNEY CASTAÑEDA DE ABREGO

COORDINADOR GENERAL DE LOS PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

RESUMEN

La investigación se ejecutó en el periodo de mayo a noviembre de 2016, realizando tres procesos de fermentación entre junio y julio en el centro de acopio de la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria “Cacao Los Izalcos” de Responsabilidad Limitada ACPACI de R. L., ubicado en el municipio de Caluco, Sonsonate, El Salvador. Evaluando si la clasificación del grano por cantidad de mucilago antes de la fermentación (categoría A y B), los métodos de fermentación (sin y con presecado) y los fermentadores (caja de madera y saco de yute), influyeron en el desarrollo de la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.), aplicando un diseño factorial 2^3 en bloques con ocho tratamientos y tres repeticiones. Midiendo diariamente: temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura del grano, pH, grados Brix, porcentaje de acidez, grados de alcohol, estado del embrión y color interno del grano.

De agosto a noviembre de 2016 se analizaron los contenidos de: grasa, proteína y ceniza en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas (CCAA) de la Universidad de El Salvador (UES), el porcentaje de fermentación por el método de agua y la calidad física del grano por el método de corte.

Obteniendo como principal hallazgo, que los granos de cacao categoría A y B con mayor porcentaje de buena fermentación y menor levemente fermentado fueron los que no recibieron presecado y fermentados en saco de yute con 76.3 y 78.7% respectivamente, así como los granos categoría B, sin presecado, fermentados en caja de madera con 77%. Sin embargo, los análisis de varianza no detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en ambas variables con un nivel de significancia del 5%.

Comparando los resultados de la prueba de corte con la clasificación planteada en la norma para Cacao y productos derivados del cacao INTE/ISO 23-02-04-09, únicamente los granos categoría A y B, sin presecado, fermentados en sacos de yute, clasificaron como granos fermentados grado I.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., Fermentación de cacao, Métodos de fermentación, Presecado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mis estudios, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis asesores, Vianney Castañeda de Abrego y principalmente a Saúl Ovidio González, por su apoyo, orientación, paciencia y esfuerzo necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Al Lic. Daniel de Jesús Palacios Hernández e Ing. Agr. Mario Antonio Bermúdez Márquez quienes atentamente me asesoraron en el área estadística.

Al Ing. Agr. M.Sc. Fidel Ángel Parada Berríos por sus excelentes observaciones y comentarios al documento y artículo científico.

Al Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas por sus observaciones al artículo científico.

A Catholic Relief Services, por parte del financiamiento de la investigación, principalmente a Gilberto Amaya, Santos Hernández, Rosario Ortiz, Ángela Pérez, Evelyn Guzmán y en especial a Hazel Guevara por su buena gestión y seguimiento en las compras.

A Lourdes Centeno por crear el enlace entre CRS y mi persona para realizar este proyecto.

A la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria Cacao “LOS IZALCOS” de Responsabilidad Limitada (ACPACI de R.L.), especialmente a Gloria Herrera, Rigoberto Massin y José Pulque por la confianza y apoyo para ejecutar la investigación en el centro de acopio.

A toda mi familia, por su comprensión y ayuda incondicional para realizar esta investigación en especial a Liliana Dueñas, Lucila del Carmen Dueñas, Gregorio Dagoberto Steinau, Felipa Dueñas, Claudia Steinau, Karla Steinau, Jennifer Fuentes, Emmanuel Fuentes, Dagoberto, Fernando y Elena Steinau, haciendo de ésta, la tesis familiar.

A mis amigos de la universidad, por estar siempre compartiendo sus conocimientos, apoyo y amistad, principalmente a Miguel Méndez y Rafael Alfaro, ya que sin su ayuda en el primer proceso de fermentación este proyecto no hubiese sido posible.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Descripción botánica	3
2.1.1. Arquitectura del árbol de cacao.....	3
2.1.2. Sistema radicular	3
2.1.3. Tallo y ramas.....	4
2.1.4. Hojas	4
2.1.5. Flores	4
2.1.6. Fruto	5
2.1.7. Clasificación taxonómica	5
2.2. Condiciones agroecológicas y topográficas.....	5
2.2.1. Clima	5
2.2.2. Agua	6
2.2.3. Viento	6
2.2.4. Sombra.....	6
2.2.5. Suelo	6
2.3. Manejo agronómico	7
2.3.1. Distanciamiento de siembra	7
2.3.2. Control de maleza.....	7
2.3.3. Poda	7
2.3.4. Riego	7
2.3.5. Fertilización	8
2.4. Composición química del cacao.....	8
2.4.1. Carbohidratos.....	8
2.4.2. Grasa.....	8
2.4.3. Compuestos fenólicos.....	8
2.4.4. Ácidos orgánicos.....	9
2.5. Tipos de cacao.....	9
2.6. Cacao fino y de aroma.....	10
2.7. Cosecha.....	11
2.8. Beneficiado del cacao.....	11
2.8.1. Quiebra de mazorcas.....	11
2.8.2. Desgrane.....	12

2.8.3. Fermentación	12
2.8.3.1. Objetivos e importancia de la fermentación	12
2.8.3.2. Fermentación microbiana.....	13
2.8.3.3. Proceso bioquímico en la fermentación.....	14
2.8.3.4. Indicadores de fermentación.....	14
2.8.3.5. Tipos de fermentadores	15
2.8.3.5.1. Cajones de madera a un nivel.....	15
2.8.3.5.2. Cajones de madera tipo escalera	15
2.8.3.5.3. Bandejas o sistemas Rohan.....	16
2.8.3.5.4. Sacos	16
2.8.3.6. Tiempo de Fermentación	16
2.8.3.7. Volteo y remoción de los granos.....	17
2.8.3.8. Métodos de fermentación.....	17
2.8.3.8.1. Método tradicional	17
2.8.3.8.2. Método con Presecado.....	18
2.8.3.9. Temperatura en la fermentación.....	18
2.8.3.10. pH en la fermentación	19
2.8.3.11. Alcohol en la fermentación.....	20
2.8.3.12. Ácidos en la fermentación.....	20
2.8.4. Secado	21
2.9. Calidad del grano de cacao fermentado	21
2.9.1. Calidad física del grano	22
2.9.1.1. Conceptos para la calidad física de los granos de cacao.....	22
2.9.1.1.1. Grano bien o totalmente fermentado	22
2.9.1.1.2. Grano parcialmente fermentado	22
2.9.1.1.3. Grano violeta	22
2.9.1.1.4. Grano pizarroso (pastoso).....	23
2.9.1.1.5. Grano mohoso	23
2.9.1.1.6. Grano infestado por insectos	23
2.9.1.1.7. Grano germinado.....	23
2.9.1.1.8. Grano vano o pasilla.....	23
2.9.1.2. Clasificación de calidad física en el grano de cacao.....	24
2.9.1.2.1. Cacao fermentado Grado I.....	24
2.9.1.2.2. Cacao fermentado Grado II.....	24
2.9.1.2.3. Cacao sin fermentar	24

2.10. Pruebas para determinar el grado de fermentación y la calidad física en el grano	24
2.10.1. Prueba de agua.....	24
2.10.2. Prueba de corte.....	25
2.11. Composición química del grano de cacao fermentado y seco	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Ubicación	26
3.2. Descripción del estudio	26
3.3. Metodología de campo	27
3.3.1. Material Vegetal	27
3.3.2. Cosecha	27
3.3.3. Quiebra y desgrane de las mazorcas.....	28
3.3.4. Clasificación y pesado del grano fresco.....	28
3.3.5. Presecado del grano fresco.....	28
3.3.6. Tipos de fermentadores	29
3.3.6.1. Caja de madera	29
3.3.6.2. Saco de yute.....	29
3.3.7. Volteo y remoción	29
3.3.8. Días de fermentación.....	30
3.3.9. Análisis físico químicos durante la fermentación	30
3.3.9.1. Medición de temperatura ambiente y humedad relativa	30
3.3.9.2. Medición de temperatura de los granos	31
3.3.9.3. Medición de pH	31
3.3.9.4. Medición de grados Brix y porcentaje de acidez.....	32
3.3.9.5. Determinación de porcentaje de alcohol	33
3.3.9.6. Determinación del estado del grano	34
3.3.9.6.1. Color interno del grano.....	35
3.3.9.6.2. Mortalidad del embrión.....	35
3.3.9.6.3. Presencia de líquido y fisuras internas	35
3.4. Metodología de laboratorio.....	35
3.4.1. Secado	35
3.4.2. Análisis bromatológicos	36
3.4.3. Determinación del grado de fermentación y calidad del grano.....	36
3.4.3.1. Prueba de agua.....	36
3.4.3.2. Prueba de corte y calidad del grano	36
3.5. Metodología estadística.....	37

3.5.1. Diseño estadístico.....	37
3.5.1.1. Modelo estadístico lineal.....	37
3.5.2. Tratamientos	38
3.6. Costeo de los tratamientos.....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Condiciones ambientales de la fermentación	39
4.2. Monitoreo del proceso de fermentación.....	39
4.2.1. Medición de temperatura de los granos categoría A	39
4.2.2. Medición de temperatura de los granos categoría B	40
4.2.3. Cambios en los sólidos solubles totales (°Brix).....	41
4.2.4. Cambios de pH durante la fermentación.....	42
4.2.5. Variación de los Grados de alcohol en la fermentación.....	44
4.2.6. Evolución de la acidez en la fermentación	45
4.3. Comportamiento de la fermentación en los granos categoría A	46
4.3.1. Granos sometidos al presecado.....	46
4.3.2. Granos sin proceso de presecado	47
4.4. Comportamiento de la fermentación en los granos categoría B	48
4.4.1. Granos sometidos al presecado.....	48
4.4.2. Granos sin proceso de presecado	49
4.4.3. Estado del grano.....	50
4.4.3.1. Color interno del grano.....	50
4.4.3.2. Mortalidad del embrión.....	50
4.4.3.3. Presencia de líquido y fisuramiento interno.....	51
4.5. Secado.....	52
4.6. Análisis bromatológico.....	53
4.7. Determinación del grado de fermentación y calidad del grano	55
4.7.1. Prueba de agua.....	55
4.7.2. Prueba de corte.....	56
4.8. Costeo de los tratamientos.....	58
5. CONCLUSIONES.....	59
6. RECOMENDACIONES	60
7. BIBLIOGRAFÍA.....	61
8. ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Información de las fincas de ACPACI de R.L.	27
Cuadro 2. Factores y niveles de la investigación	37
Cuadro 3. Monitoreo de temperatura y humedad relativa promedio en el centro de acopio de ACPACI de R.L. durante el proceso de fermentación	39
Cuadro 4. Comportamiento de grados Brix durante el proceso de fermentación.....	42
Cuadro 5. Comportamiento de pH durante el proceso de fermentación	42
Cuadro 6. Medición de grados de alcohol durante el proceso de fermentación.....	44
Cuadro 7. Evolución de la acidez durante el proceso de fermentación	45
Cuadro 8. Mortalidad de embriones en los granos de cacao.....	50
Cuadro 9. Estimación del contenido de líquido dentro de los granos de cacao durante la fermentación.....	51
Cuadro 10. Valoración de las fisuras internas en los granos de cacao interno durante la fermentación.....	51
Cuadro 11. Parámetros físico químicos después del secado para cotiledón y testa	52
Cuadro 12. Prueba de agua para los granos fermentados y secos.....	55
Cuadro 13. Evaluación de los parámetros físicos de calidad de los granos de cacao fermentados en dos tipos de fermentadores y dos métodos de fermentación.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación del centro de acopio ACPACI de R.L.	26
Figura 2. Centro de acopio ACPACI de R.L.	26
Figura 3. Mazorcas de cacao trinitario utilizadas en la investigación	27
Figura 4. Forma correcta de cosecha de mazorcas de cacao en finca	27
Figura 5. Quiebra con mazo y extracción de los granos de las mazorcas	28
Figura 6. Clasificación de dos categorías del grano según la cantidad de mucilago	28
Figura 7. Grano de cacao sometido al proceso de presecado en una bandeja para secado de madera.....	29
Figura 8. Termohigrómetro HANNA HI 9564, para la medición de humedad relativa y temperatura ambiente	30
Figura 9. Medición de temperatura masa de cacao con termómetros HANNA HI 93503 y DIGIFLEX TP101.....	31
Figura 10. Uso del pH-metro digital OAKTON pHTestr 10 en la medición de testa.....	31
Figura 11. Medición de grados Brix y acidez en lixiviado con el refractómetro PAL-BX ACID181	33
Figura 12. Medición de porcentaje de alcohol con refractómetro PET - 109 en cotiledón.....	33
Figura 13. Color del grano y estado del embrión.....	35

Figura 14. Comportamiento de la temperatura de los granos con mayor cantidad de mucilago (categoría A) durante la fermentación.	40
Figura 15. Comportamiento de la temperatura de los granos con menor cantidad de mucilago (categoría B) durante la fermentación	40
Figura 16. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, presecados y fermentados en caja de madera (T1).....	46
Figura 17. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, presecados y fermentados en saco de yute (T2)	46
Figura 18. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, sin presecado y fermentados en caja de madera (T3).....	47
Figura 19. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, sin presecado y fermentados en saco de yute (T4)	47
Figura 20. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, presecados y fermentados en caja de madera (T5).....	48
Figura 21. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, presecados y fermentados en saco de yute (T6)	48
Figura 22. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, sin presecado y fermentados en caja de madera (T7).....	49
Figura 23. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, sin presecado y fermentados en saco de yute (T8)	49
Figura 24. Comportamiento de color interno del grano durante el proceso de fermentación .	50
Figura 25. Parámetros físico químicos después del secado en los cotiledones	53
Figura 26. Análisis bromatológico de los granos de cacao	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Cuadro A - 1. Composición química del cotiledón de cacao fresco	67
Cuadro A - 2. Composición química del mucílago de cacao.....	67
Cuadro A - 3. Composición química del grano de cacao fermentado y seco	67
Cuadro A - 4. Análisis de varianza para °Brix en el último día de fermentación.....	68
Cuadro A - 5. Prueba de Tukey de grados Brix en último día de fermentación para tipo de fermentador	68
Cuadro A - 6. Análisis de varianza para pH en el último día de fermentación	68
Cuadro A - 7. Prueba de Tukey pH último día de fermentación para clasificación del grano .	68
Cuadro A - 8. Prueba de Tukey pH en último día de fermentación para método.....	69
Cuadro A - 9. Prueba de Tukey pH último día de fermentación para tipo de fermentador	69
Cuadro A - 10. Análisis de varianza para grados Alcohol en último día de fermentación	69

Cuadro A - 11. Prueba de Tukey de grados Alcohol en el último día de fermentación para tipo de fermentador	69
Cuadro A - 12. Análisis de varianza para Acidez en el último día de fermentación	70
Cuadro A - 13. Prueba de Tukey de Acidez en el último día de fermentación para clasificación de grano.....	70
Cuadro A - 14. Prueba de Tukey de Acidez en el último día de fermentación para método ..	70
Cuadro A - 15. Prueba de Tukey de Acidez en el último día de fermentación para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador.....	70
Cuadro A - 16. Comportamiento de color interno del grano durante la fermentación expresado en el modelo de color RGB	71
Cuadro A - 17. Análisis de varianza para pH después del secado	71
Cuadro A - 18. Prueba de Tukey de pH después del secado para método de fermentación ..	71
Cuadro A - 19. Prueba de Tukey de pH después del secado para tipo de fermentador	72
Cuadro A - 20. Prueba de Tukey de pH después del secado para la interacción clasificación de grano - tipo de fermentador.....	72
Cuadro A - 21. Análisis de varianza para grados Brix después del secado	72
Cuadro A - 22. Prueba de Tukey grados Brix después del secado para tipo de fermentador ..	72
Cuadro A - 23. Prueba de Tukey de grados Brix después del secado para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador.....	72
Cuadro A - 24. Análisis de varianza para grados de alcohol después del secado.....	73
Cuadro A - 25. Análisis de varianza para acidez después del secado	73
Cuadro A - 26. Análisis de varianza para porcentaje de grasa	73
Cuadro A - 27. Análisis de varianza para porcentaje de proteína.....	74
Cuadro A - 28. Análisis de varianza para porcentaje de ceniza	74
Cuadro A - 29. Prueba de Tukey de porcentaje de ceniza para método de fermentación.....	74
Cuadro A - 30. Prueba de Tukey porcentaje de ceniza para la interacción método - tipo	74
Cuadro A - 31. Análisis de varianza para grano bien fermentado con prueba de agua.....	75
Cuadro A - 32. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para clasificación de grano	75
Cuadro A - 33. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para método de fermentación	75
Cuadro A - 34. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para tipo de fermentador	75
Cuadro A - 35. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para la interacción método - tipo	76
Cuadro A - 36. Análisis de varianza para grano mal fermentado con prueba de agua	76

Cuadro A - 37. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para clasificación de grano.....	76
Cuadro A - 38. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para método de fermentación.....	76
Cuadro A - 39. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para tipo de fermentador.....	77
Cuadro A - 40. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador.....	77
Cuadro A - 41. Análisis de varianza para grano bien fermentado con prueba de corte.....	77
Cuadro A - 42. Análisis de varianza para grano levemente fermentado con prueba de corte.....	77
Cuadro A - 43. Análisis de varianza para grano violeta con prueba de corte.....	78
Cuadro A - 44. Análisis de varianza para grano pizarroso con prueba de corte.....	78
Cuadro A - 45. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para método de fermentación.....	78
Cuadro A - 46. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para la interacción clasificación de grano - método de fermentación.....	78
Cuadro A - 47. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para la interacción clasificación de grano - tipo de fermentador.....	79
Cuadro A - 48. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador.....	79
Cuadro A - 49. Análisis de varianza grano con presencia de moho con prueba de corte.....	79
Cuadro A - 50. Clasificación de cacao según la norma INTE 23-02-04-09.....	80
Cuadro A - 51. Costo de implementación de un método y un fermentador para un proceso de fermentación.....	80
Cuadro A - 52. Proyección de costo de aplicación de un método y un fermentador.....	81
Figura A - 1. Sucesión microbiana durante la fermentación de granos de cacao.....	81
Figura A - 2. Protocolo de fermentación para cacao.....	82
Figura A - 3. Clasificación de calidad de los granos de cacao.....	83
Figura A - 4. Prueba de agua en cacao.....	83
Figura A - 5. Cambios del grano de cacao categoría A durante el proceso de fermentación.....	84
Figura A - 6. Cambios del grano de cacao categoría B durante el proceso de fermentación.....	85
Figura A - 7. Resultados de análisis de grasa, proteína y ceniza.....	86

1. INTRODUCCIÓN

En la época prehispánica (siglo XVI) existieron dos núcleos principales del cultivo de cacao en El Salvador: los Izalcos, como núcleo primario de producción y el de San Miguel como núcleo secundario. Además, la región de los Izalcos, junto con la de Soconusco en México se constituían a su vez, como los principales productores de cacao del pacífico (Castañeda *et al.* 2015). Sin embargo, desde esa fecha hasta la actualidad no se ha tenido el progreso adecuado, debido al descuido, a la falta de políticas gubernamentales e investigación científica, que permitan a los agricultores el desarrollo y la industrialización del mismo.

Por tanto, se carece de normas, parámetros y estándares de calidad para el beneficiado, que permitan asegurar la calidad del producto final. Ocasionalmente que la gran mayoría de cacaocultores no realicen la fermentación del grano, y los que lo hacen no cuenten con un método uniforme y estandarizado, que permita la formación de los precursores del sabor a chocolate. Obteniendo al final del proceso lotes defectuosos con gran cantidad de granos pizarrosos, que dan un sabor amargo y sensación astringente, granos violetas y negros causados por el poco o mucho tiempo de fermentación, además de granos mohosos con olores desagradables debido a la cantidad y calidad de volteos efectuados.

Asimismo, esta deficiencia no permite que la agroindustria salvadoreña del chocolate avance, y pueda generar productos con mayor valor agregado, así como, la obtención de mejores precios de venta y nuevas fuentes de empleo para los salvadoreños.

Al respecto, Graziani citado por Sánchez (2007), afirma que el sabor potencial del cacao fino, es debido a la variabilidad genética de los árboles que lo producen. Aunque, el desarrollo del sabor y aroma a chocolate dependen del correcto proceso de fermentación y secado. Por lo tanto, la fermentación es uno de los procesos que desarrollan la calidad propia del cacao para hacer chocolate, ya que es en ese proceso donde muere el embrión y se generan reacciones bioquímicas dentro de los cotiledones, disminuyendo el sabor amargo y la astringencia; permitiendo el desarrollo de los compuestos precursores que reaccionarán durante el tostado para formar el sabor a chocolate. Confirmando lo dicho por Lambert (s.f.), «no hay sabor a chocolate en los granos sin fermentar».

Es por ello, que actualmente organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, a través de la Mesa Nacional de Cacao, están promoviendo el desarrollo del cultivo y procesamiento del cacao a fin de lograr la mejora económica, social y ambiental de los actores de la cadena de valor; buscando posicionar a El Salvador, como un origen privilegiado de cacao finos y de

aroma de alta calidad, contribuyendo además a la adaptación al cambio climático y a la seguridad alimentaria.

Sin embargo, en el país, no han existido investigaciones sobre la fermentación del grano, en donde se determinen aspectos básicos del proceso tales como: temperatura, pH y grados Brix; dejando de lado el conocimiento necesario para transmitir a los productores, quienes, según el tipo de cacao y condiciones ambientales de las fincas, necesitan de un método de fermentación y tipo de fermentador adaptado a sus condiciones, logrando así un producto de mayor calidad.

No obstante, en la región se cuenta con diversos estudios tal como el de Bravo y Mingo (2011), quienes realizaron la “Valoración de tres métodos de fermentación (Caja de madera, sacos de yute y sacos de polipropileno) y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (*Theobroma cacao L.*) en la parroquia Panguintza del cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador”, demostrando que la fermentación en cajones tiende a ser óptima, con un máximo de temperatura al cuarto día (45 °C), mientras que en los sacos de polipropileno y de yute continúa aumentando hasta 48°C, obteniendo un mayor porcentaje de fermentación en los sacos de yute.

Así también, el estudio: “Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera” realizado por Graziani *et al.* (2003), concluye que: el diseño del fermentador influyó sobre las características físicas y químicas, de manera que al usar la caja cuadrada se obtuvieron temperaturas más altas en la masa de cacao, las cuales fueron alcanzadas en menor tiempo que en la caja rectangular, así mismo, mayor porcentaje de granos fermentados.

Por lo que, la importancia de esta investigación consistió en determinar si la aplicación de algún método de fermentación con un tipo de fermentador en alguna categoría de grano, logró una buena fermentación; provocando una buena calidad en el grano de cacao trinitario producido y fermentado en la zona de estudio.

Al mismo tiempo, se están realizando los esfuerzos necesarios para caracterizar el cacao de las plantaciones nacionales importantes, por lo que, conviene evaluar el proceso de fermentación, bajo condiciones climáticas locales, beneficiando a los productores y procesadores de cacao en la zona de Caluco, Sonsonate, El Salvador, quienes podrán apropiarse de la metodología de fermentación, para obtener mejores resultados en el procesamiento del grano de cacao, manteniendo una buena calidad del producto.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Descripción botánica

2.1.1. Arquitectura del árbol de cacao

El árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) crece en una franja geográfica fundamentalmente tropical que se extiende unos 20° de latitud hacia ambos hemisferios (Martínez 2015), con una altitud entre 0 y 1.000 msnm (Reyes y Capriles 2000). Este árbol es nativo de regiones húmedas tropicales del norte de Sur América (Morazán 2012).

Es un árbol que alcanza una altura de 8 a 10 m. (Morazán 2012), dependiendo de factores ambientales que influyen en el crecimiento. Cultivado con alta luminosidad el tamaño es más reducido que con exceso de sombra (Batista 2009). Por lo que se hacen distanciamientos de dos a tres metros con sombra, por lo cual se encuentran bajo especies más grandes como cedro, mango, plátano, entre otros (Martínez 2015). Normalmente la producción es de 20 a 50 frutos anualmente, requiriendo de 4 a 6 meses para su maduración (Belitz, citado por Recalde 2007), es un cultivo permanente con un ciclo de duración casi 40 años (Martínez 2015).

2.1.2. Sistema radicular

En plantas reproducidas por semillas el sistema radicular está compuesto por una raíz principal denominada raíz pivotante, la cual crece hacia abajo de forma recta. A partir de la raíz pivotante, inmediatamente debajo del cuello, se desarrollan la mayoría de las raíces secundarias a unos 15 a 20 cm de profundidad en la porción superior de la capa de humus. Éstas se extienden en forma horizontal a cinco y seis metros del tronco del árbol, con raíces laterales que se dividen repetidamente. Las raíces secundarias que se encuentran en la parte inferior de la raíz pivotante, tienen un crecimiento hacia abajo en dirección a la roca madre o hacia la capa freática (Batista 2009).

Las plantas que son reproducidas por medios vegetativos o asexuales (estaca y acodo) no desarrollan raíz pivotante, pero sí raíces primarias y secundarias, de crecimiento horizontal, según se describe en el párrafo anterior. La forma y desarrollo de las raíces del cacao dependen principalmente de la textura, estructura y consistencia del suelo, así como del modo de reproducción. En suelos profundos bien aireados su crecimiento puede alcanzar hasta 2 metros de profundidad; en suelos pedregosos su crecimiento es tortuoso y superficial (Batista 2009).

2.1.3. Tallo y ramas

Las ramas del árbol de cacao, al igual que las de otras especies del género *Theobroma*, son dimórficas. Unas son de crecimiento vertical hacia arriba, denominadas ramas de crecimiento ortotrópico que constituyen el tallo y/o los chupones y otras de crecimiento oblicuo hacia fuera, denominadas ramas de crecimiento plagiotrópico (Batista 2009).

Las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar de uno a dos metros de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de tres a cinco ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilo u horqueta. Las ramas laterales se desarrollan formando un ángulo de 45°. La formación de chupones ocurre con frecuencia, emergiendo inmediatamente por debajo del verticilo, formando una nueva horqueta, la cual se repite en esta misma forma unas cuatro veces (Batista 2009).

2.1.4. Hojas

Las hojas son simples, enteras y de color verde bastante variable (color café claro, morado o rojizo, verde pálido) y de pecíolo corto (Loor 2006). El tamaño de las hojas es variable; lo cual depende de caracteres genéticos y de su posición en el árbol. Las hojas de la periferia que están muy expuestas a la luz solar son más pequeñas que las que están ubicadas en el interior del árbol. Las hojas adultas del cacao Criollo son más grandes que las del cacao Forastero (Batista 2009).

2.1.5. Flores

Las primeras flores aparecen en el tallo de las plantas de cacao uno o dos años después de que el tallo se ha lignificado. Las flores forman inflorescencias (cojines florales) que se originan a partir de botones axilares de las hojas caducas (Dostert *et al.* 2011).

La flor del cacao es hermafrodita, pentámera, de ovario súpero, cuya fórmula floral es: S₅, P₅, E₅₊₅, + G (5). Esto indica que la flor del cacao está constituida en su estructura floral por 5 sépalos, 5 pétalos; el androceo conformado por 10 filamentos de los cuales 5 son fértiles (estambres) y los otros 5 son infértiles (estaminoides); el gineceo (pistilo) está formado por un ovario súpero con 5 lóculos fusionado desde la base donde cada uno puede contener de 5 a 15 óvulos, dependiendo del genotipo (Batista 2009).

2.1.6. Fruto

Es una baya, glabra, con un peso de 200 a 1000 g. y dimensiones de: 10 a 35 cm de largo y ancho de 7 a 12 cm. El endocarpo es de 4 a 8 mm de grosor, duro, carnosos y leñoso en estado seco (Dostert *et al.* 2011).

Las bayas por sus formas están clasificadas como: amelonado, calabacillo, angoleta y cundeamor, variando según el tipo (Batista 2009). Los frutos se dividen interiormente en cinco celdas. La pulpa es blanca, rosada o café, de sabor ácido a dulce y aromática. El contenido de granos por baya es de 20 a 40 pueden ser planas o redondeadas, de color blanco, café o morado, ligeramente comprimidas, de sabor dulce o amargo (Loor 2006). Con dimensiones de: 20 a 50 mm. de largo, ancho de 12 a 16 mm. y 7 a 12 mm. de grosor (Dostert *et al.* 2011).

2.1.7. Clasificación taxonómica

Theobroma cacao L, pertenece a la familia Sterculiaceae y es la única especie del género *Theobroma* que se explota comercialmente (Morazán 2012).

Según Riera (2009) la clasificación taxonómica de la especie es:

- » Reino..... Plantae
- » División..... Magnoliophyta
- » Clase..... Magnoliopsida
- » Subclase..... Dilleniidae
- » Orden..... Málvales
- » Familia..... Sterculiaceae
- » Género..... *Theobroma*
- » Especie..... *Theobroma cacao*

2.2. Condiciones agroecológicas y topográficas

2.2.1. Clima

Los factores climáticos críticos para el desarrollo del cacao son la temperatura y la lluvia. A estos se le unen el viento y la luz o radiación solar. El cacao es una planta que se desarrolla bajo sombra. La humedad relativa también es importante ya que puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto. Estas exigencias climáticas han hecho que el cultivo de cacao se concentre en las tierras bajas tropicales (Loor 2006).

Martínez (2015), menciona que los factores ambientales, tales como el clima y el suelo son importantes para el desarrollo de cualquier cultivo, las condiciones óptimas del cacao son temperaturas de 20 a 28°C y una humedad relativa de 70 - 80%.

2.2.2. Agua

El cacao es una planta sensible a la escasez de agua, pero también al encharcamiento por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo (Loor 2006).

2.2.3. Viento

Vientos continuos pueden provocar un desecamiento, muerte y caída de las hojas. Por ello en las zonas costeras es preciso el empleo de barreras rompe viento para que el cacao no sufra daños. Las rompe viento suelen estar formados por distintas especies arbóreas (frutales o madereras) que se disponen alrededor de los árboles de cacao (Loor 2006).

2.2.4. Sombra

El cacao es un cultivo típicamente umbrófilo. El objetivo de la sombra al inicio de la plantación es reducir la cantidad de radiación que llega al cultivo para reducir la actividad de la planta y proteger al cultivo de los vientos que la puedan perjudicar. Cuando el cultivo se haya establecido se podrá reducir el porcentaje de sombra hasta un 25 o 30 %. La luminosidad deberá estar comprendida más o menos al 50 % durante los primeros 4 años de vida de las plantas (Loor 2006).

2.2.5. Suelo

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcilloso, con buen drenaje y topografía regular. El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao es la delgada capa húmica. Esta capa se degrada muy rápidamente cuando la superficie del suelo queda expuesta al sol, al viento y a la lluvia directa. Por ello es común el empleo de plantas leguminosas auxiliares que proporcionen la sombra necesaria y sean una fuente constante de sustancias nitrogenadas para el cultivo (Loor 2006).

Los suelos requeridos para el cultivo de cacao deben tener propiedades físicas y químicas apropiadas tales como la profundidad del suelo el cual debe ser de 1.5 m con un pH de 5.5 a 7.5 (Martínez 2015).

2.3. Manejo agronómico

2.3.1. Distanciamiento de siembra

La densidad de siembra recomendada es de 625 plantas/ha. (4 x 4 m), utilizándose sombra de plátano durante los primeros dos años. Los distanciamientos entre surcos son de 2.5 a 3 m. (Cerrón 2012). La tendencia actual de las nuevas plantaciones es colocar todas las variedades a intervalos de 3.5 hasta 3.75 m (Anacafé s.f.).

Los marcos seguidos son cuadrangulares de 3.6 x 3.6 m, aunque existen sistemas rectangulares, triangulares y hexagonales o en contorno. Se recomienda colocar las plantas a la mitad de las separaciones normales para luego realizar un aclareo gradual de la plantación en función de la producción (Anacafé s.f.). El establecimiento inicial requiere de sombra temporal, para lo cual se asocia con otros cultivos de especies anuales, semipermanentes o permanentes (Cerrón 2012).

2.3.2. Control de maleza

La eliminación de malas hierbas en cacao se realiza fundamentalmente mediante escarda química. Las plantas que salen del vivero son muy susceptibles al daño de los herbicidas por lo que deben aplicarse con precaución. Cuando se realicen aplicaciones de herbicidas es importante que no entren en contacto con la planta de cacao. Por ello es común el empleo de protectores cilíndricos de plástico que protejan a las plantas (Anacafé s.f.).

2.3.3. Poda

Es una técnica que consiste en eliminar todos los chupones y ramas innecesarias, así como las partes enfermas y muertas del árbol. La poda ejerce un efecto directo sobre el crecimiento y producción del cacaotero ya que se limita la altura de los árboles y se disminuye la incidencia de plagas y enfermedades. Los tipos de poda aplicadas son: formación, mantenimiento, fitosanitaria, rehabilitación y de sombra (Anacafé s.f.).

2.3.4. Riego

Al tratarse de zonas tropicales y con elevadas precipitaciones pluviales el aporte de agua es suficiente para satisfacer las demandas hídricas del cultivo. En zonas donde exista exceso de agua es preciso una evacuación adecuada de la misma para evitar el anegamiento del cultivo. En zonas de menor precipitación pluvial se utilizarán los porcentajes de sombra adecuados para evitar una pérdida excesiva de humedad en el suelo (Anacafé s.f.).

2.3.5. Fertilización

En el trasplante se debe poner abono orgánico o fertilizante en el fondo. Seguidamente a los 3 meses de la siembra es conveniente abonar con un kilogramo de abono orgánico. Durante el primer y segundo año las necesidades por planta son de 60 gramos de nitrógeno, 30 g de fósforo, 24 g de potasio y 82 g de sulfato. Del tercer año en adelante, el abonado se debe hacer basándose en un análisis del suelo (Anacafé s.f.).

2.4. Composición química del cacao

El grano de cacao está formado por células epidérmicas, células parenquimatosas de reserva que contienen grasa, proteínas, almidón y las células con pigmentos responsables de la coloración como los polifenoles y purinas (Ronald *et al.*, citado por Recalde 2007).

La composición química depende de: tipo de cacao, origen geográfico, grado de madurez, calidad de la fermentación, secado y procesamiento de los granos (Wakao, citado por Recalde 2007).

Los principales constituyentes del grano de cacao son: agua, grasa, compuestos fenólicos, materia nitrogenada (proteínas y purinas), almidón, otros carbohidratos y materia orgánica (Cuadro A - 1), (Belitz, citado por Recalde 2007); en cambio el mucílago está formado por: agua, azúcares, glucosa, pectinas y ácido cítrico (Cuadro A - 2), (Mejía y Arguello, citado por Ortiz y Álvarez 2015).

2.4.1. Carbohidratos

Los carbohidratos que se encuentran en el cacao, se componen en su mayor parte de almidón, hallándose también carbohidratos solubles como la estaquinoso, rafinoso, sacaroso, glucosa y fructosa (Calderón, citado por Recalde 2007).

2.4.2. Grasa

El grano de cacao es muy rico en materia grasa, generalmente entre 50 - 55%. Compuesta principalmente por ácidos: esteárico, palmítico, laúrico y pequeñas cantidades de linoleico, acético y butírico (Recalde 2007).

2.4.3. Compuestos fenólicos

Los principales compuestos fenólicos presentes en el grano de cacao son: flavanoles, leucocianidinas y antocianinas. Los cuales desempeñan un papel muy importante en la calidad

del cacao, especialmente en las características sensoriales: aroma, color y astringencia (Calderón, citado por Recalde 2007). En los granos no fermentados las células pigmentadas constituyen del 11 al 13% total de los tejidos. Dichas células contienen entre un 65 a 67% (p/p) de polifenoles, los cuales, durante la fermentación, sufren condensaciones y reacciones con las proteínas y péptidos ocasionando la disminución de estos compuestos (Zumbe, citado por Recalde 2007).

2.4.4. Ácidos orgánicos

Los ácidos en los granos de cacao se pueden dividir en volátiles y no volátiles. Los ácidos volátiles incluyen ácidos grasos de cadena de C₂ hasta C₅, los cuales tienen bajo peso molecular, bajo punto de ebullición, son compuestos que pueden vaporizarse fácilmente y que tienen un solo grupo carboxílico los cuales son: ácido acético, propiónico, butírico, isobutírico e isovaleriánico. Entre los ácidos no volátiles se incluye al ácido oxálico, cítrico, málico, succínico y tartárico. (Jinap, citado por Recalde 2007).

Los granos contienen alrededor de 0.47 – 1.02% de ácidos volátiles y 1.01 – 1.88% de ácidos no volátiles, sin embargo, Rohan y Stewart (1964) demostraron que el rango de los ácidos no volátiles va desde 1.04 a 5.25 de lo cual 0.48 – 4.43g están presentes en forma libre y 0.79 – 1.48g se encuentran ligados a otros compuestos (Jinap, citado por Recalde 2007).

Entre los ácidos volátiles, el ácido acético constituye del 95 al 98% del total, el cual se produce principalmente por la oxidación del etanol en presencia de oxígeno por la bacteria del ácido acético en el proceso de fermentación. Por otra parte, el ácido cítrico es el ácido no volátil más predominante en la pulpa de cacao (Jinap, citado por Recalde 2007).

2.5. Tipos de cacao

El cacao está clasificado en tres grupos morfo geográficos: criollo, forastero y trinitario, que presentan una gran variabilidad en cuanto a color, dimensiones y forma de las diferentes partes de flores, frutos y granos (Reyes, citado por Morazán 2012).

A continuación, se exponen las características del grupo de cacao trinitario ya que fueron los utilizados en la investigación:

Los cacaos trinitarios, se desarrollaron en la isla de Trinidad por el cruce entre cacaos criollos y forasteros realizado en forma natural entre los distintos tipos introducidos y también a partir de hibridaciones deliberadas a través de distintos programas de desarrollo en Trinidad. La calidad de los cacaos trinitarios corresponde a características intermedias entre los cacaos

criollos y forasteros según la cantidad de genes de uno o de otro que les hayan correspondido. Debido a su heterogeneidad, los cacaos trinitarios constituyen un material excepcional al procesador, quién podría seleccionar entre la multitud de combinaciones, aquéllas que reúnen el mayor número de características interesantes y propagadas vegetativamente. Los trinitarios se cultivan básicamente en México, América Central, Trinidad, Colombia, Venezuela y países donde anteriormente se cultivaban criollos (FEDECACAO 2004).

Según Castañeda *et al.*, citado por Orellana y Molina (2012), las características del cacao trinitario son:

- ⊕ Producen las primeras mazorcas en menor tiempo que los genotipos criollos.
- ⊕ Requiere de una buena fermentación para manifestar sus atributos.
- ⊕ Las flores presentan estaminodios de color morado oscuro.
- ⊕ Usualmente con alto sabor a frutas y nueces.
- ⊕ Árboles vigorosos, producen verticilo (Horqueta).
- ⊕ Son susceptibles a monilia y mazorca negra.
- ⊕ Presentan sabor a cacao de medio a alto.
- ⊕ Presentan cáscara gruesa y dura.
- ⊕ Bajo sabor floral.

2.6. Cacao fino y de aroma

Fino de Aroma es una clasificación de la Organización Internacional del Cacao (ICCO) que describe un cacao de exquisito aroma y sabor. Siendo estos aromas y sabores frutales, florales, de nueces y de malta. Los cacaos de este tipo provienen en su mayoría de cacaos criollos y trinitarios, que son diferentes en términos de aroma y sabor a los cacaos de tipo forastero (Casa Luker 2012).

La variabilidad genética en cacao tiene gran influencia en las características de los granos de cacao, el sabor, color, tamaño, contenido de manteca y sobretodo, aroma que pueda desprender después de la torrefacción (Braudeau, citado por Torres *et al.* 2003). Graziani, citado por Sánchez (2007), afirma que el sabor potencial del cacao fino es debido básicamente a la variabilidad genética de los árboles que lo producen; sin embargo, el desarrollo del sabor y aroma a chocolate dependen del correcto proceso de fermentación y secado.

2.7. Cosecha

El período de maduración de los frutos oscila entre los cuatro y los seis meses, según la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura, por lo que se recolecta en dos grandes cosechas. La principal, de octubre a marzo, dando la mayor cantidad de frutos, quedando el resto para la cosecha secundaria, realizada de mayo a julio (Mota 2007).

Generalmente en plantaciones pequeñas, la recolección debe hacerse cada dos o tres semanas, con lo que se evita la sobre maduración de los frutos, pérdidas por insectos o enfermedades (FEDECACAO 2007). El punto óptimo de recolección se produce cuando las variedades de fruto rojo han tomado un color anaranjado-bermellón y los de fruta amarilla un color amarillo-verdoso (Anacafé s.f.). Además, por el sonido que hace su interior al ser ligeramente golpeado, el recolector sabe cuándo ha llegado el momento de la cosecha. (Loor 2006).

La recolección se hace con herramientas adecuadas (tijera podadora). Por ningún motivo deben arrancar las mazorcas (halándolas) con la mano, porque destruye completamente el cojín floral y causa heridas peligrosas para el tronco. El corte con la tijera debe hacerse cerca de la mazorca, sobre la base de ésta y no sobre el cojín floral, pues también puede dañarlo perjudicando la cosecha futura (FEDECACAO 2007).

2.8. Beneficiado del cacao

El beneficio del cacao comprende aquellas operaciones que se hacen al grano después de la cosecha (Cubillos *et al.* 2008). Dichos procesos obedecen a los principios básicos de conservación de alimentos y se hace con la finalidad de desarrollar la calidad del grano, este proceso comprende las siguientes etapas: quiebra o partida de mazorca, desgrane, fermentación y secado (Paredes 2003).

2.8.1. Quiebra de mazorcas

Según Camargo *et al.* (2009) la quiebra consiste en dar un golpe en sesgo sobre la mazorca con machete o con un mazo de madera. Así mismo, Paredes (2003) denomina quiebra, a la operación de partir la mazorca utilizando machetes cortos acondicionados especialmente para esta labor. Para ello, se efectúa un corte longitudinal con sumo cuidado a fin de no cortar los granos que permanecen adheridos a las hebras, además, para evitar daños en las semillas también se pueden utilizar mazos golpeando la mazorca, facilitando la quiebra y la extracción de los granos.

De acuerdo con Enríquez (1987), esta operación se puede realizar en el campo o en el lugar de fermentación y secado, con un machete (libre) o con uno fijado a dos trozos de madera clavadas en el suelo. Las mazorcas pueden ser transportadas en cajas de madera o en sacos plásticos.

2.8.2. Desgrane

La extracción de los granos de la cáscara, se denomina «desgranada» y se hace deslizando los dedos de la mano a lo largo de la placenta o vena central de la mazorca, evitando extraerla para no mezclarla con los granos de cacao. Si esto sucede debe sacarse posteriormente dicha placenta pues constituye una impureza que perjudica la calidad del producto (FEDECACAO 2004).

Es recomendable abrir las mazorcas y extraer los granos lo más pronto que se pueda después de la cosecha. Esta recomendación se debe tener en cuenta debido a que una vez que la mazorca deja de tener flujo de sabia con la planta inicia un proceso de degradación dentro del cual parte de este proceso es fermentativo. Algunos autores recomiendan no tener más allá de tres días la mazorca cosechada, particularmente si se trata de cacaos de tipo forastero o trinitario. El periodo de espera también se llama «aguante» (Bravo y Mingo 2011).

2.8.3. Fermentación

Portillo *et al.* (2006), mencionan que la fermentación involucra dos fenómenos distintos no independientes: la fermentación microbiana que contribuye a la eliminación de la pulpa mucilaginosa presente en los granos; y las reacciones bioquímicas internas en los cotiledones que conducen a la modificación de la composición química de los granos y en particular a la formación de los precursores del aroma.

2.8.3.1. Objetivos e importancia de la fermentación

Según Martínez (2015) los objetivos e importancia de la fermentación son:

- ⊕ Desprender los granos de la pulpa mucilaginosa que los rodea.
- ⊕ Provocar la muerte del embrión e impedir la germinación de los granos de cacao y así facilitar su conservación.
- ⊕ Desencadenar modificaciones bioquímicas dentro de los cotiledones que se traduce en la aparición de color pardo del cacao elaborado, dando como consecuencia la disminución del sabor amargo y de la astringencia, permitiendo el desarrollo de los

compuestos precursores del sabor y aroma que reaccionarán entre ellos durante el tostado para formar el sabor a chocolate.

2.8.3.2. Fermentación microbiana

La sucesión microbiológica en la fermentación (Figura A - 1) inicia con las levaduras (entre 5 y 6 especies diferentes tales como *Hanseniaspora guilliermondii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida silvae*, *Candida zemplinina*, *Candida krusei* y *Pichia kudriavzevii*), transformando los azúcares sencillos de la pulpa en etanol, degradando la pectina, lo que modifica la textura del grano y elimina el ácido cítrico disminuyendo la acidez. Por otro lado, el consorcio de levaduras consume el oxígeno, creando un ambiente anaerobio que favorece el desarrollo de bacterias lácticas (Wacher 2011).

Luego, la segunda fase se favorece el desarrollo de bacterias lácticas (*Lactobacillus collonides*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus mali*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Leuconostoc pseudoficulneum*, y *Pediococcus acidilactici*), que fermentan los carbohidratos residuales y continúan el consumo del ácido cítrico (Wacher 2011).

Las levaduras contienen enzimas del tipo pectinolítico, lo que les permite hidrolizar las pectinas, ocasionando una disminución de la viscosidad de la pulpa de mucílago y favoreciendo la entrada de aire. Con este ambiente aerobio y menos ácido (debido al consumo de ácido cítrico) se favorece el desarrollo de bacterias acéticas (Wacher 2011).

En la tercera fase ocurre un cambio importante en términos de los productos de la fermentación, ya que intervienen bacterias acéticas (*Gluconobacter oxydans*, *Acetobacter acetii*, *Acetobacter pasteurianus*, *Acetobacter syzygii* y *Acetobacter fabarum*) que llevan a cabo la transformación del etanol que produjeron las levaduras en ácido acético, con producción de calor. El etanol y el ácido acético se difunden hacia el interior de los granos y, junto con la temperatura alta, matan al embrión (Wacher 2011).

En la cuarta y última fase de la fermentación, *la temperatura alta favorece el desarrollo de bacterias del género Bacillus (B. licheniformis, B. megaterium, B. pumilus y un grupo pequeño de B. subtilis, B. megaterium y B. pumilus)* cocido por la producción de numerosas enzimas, que catalizan reacciones cuyos productos dan al cacao sabores y olores desagradables, como las proteolíticas, que degradan las proteínas y las lipolíticas, que actúan sobre las grasas; pero

podrían contribuir en el sabor con la producción de ácidos orgánicos y saborizantes, como 2,3-butanodiol (Wacher 2011).

Si la fermentación se prolonga demasiado habrá un crecimiento de bacterias consideradas de alteración, como *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Escherichia*, así como de mohos *Aspergillus* (*A. glaucus*, *A. niger*, *A. flavus*, *A. tamarii*) y especies de *Penicillium* y de *Mucor*, que darían lugar a pH entre 6 y 7 y a olores putrefactos (Wacher 2011).

2.8.3.3. Proceso bioquímico en la fermentación

La fermentación puede caracterizarse como un proceso con dos etapas. En la primera se da la fermentación anaerobia de los azúcares del mucílago que cubren los granos (Lambert s.f.). Ya que el mucílago contiene 80% de agua, es un medio donde se propagan fácilmente las levaduras, las cuales transforman el mucílago azucarado en alcohol y anhídrido carbónico (Martínez 2015), a la vez que comienza a elevarse la temperatura (Reyes *et al.* 2000).

Conforme se produce el descenso de la pulpa, hay penetración de aire, iniciando la segunda etapa (fermentación aerobia), que favorece la oxidación del alcohol a ácido acético, con la intervención de bacterias acéticas (Reyes *et al.* 2000).

El ácido acético provoca la muerte del embrión al penetrar en el tejido cotiledonar y a su vez la permeabilidad de las paredes celulares, permitiendo la interdifusión de los componentes del jugo celular. Así, las enzimas se ponen en contacto con los polifenoles y proteínas y se inician las reacciones hidrolíticas que dan lugar a cambios en los pigmentos cianidinglucósidos. Luego se disminuye el contenido de humedad, hasta el punto en que la falta de agua detiene la actividad enzimática. Cuando el oxígeno tiene acceso a las células de los cotiledones durante la fase de condensación oxidativa, el color de la superficie de los granos se vuelve pardo provocando el inicio de la formación de los precursores del sabor a chocolate. Toda esta fase ocurre a temperaturas cercanas a 45 °C y con pH de 4.0 a 5.0 (Reyes *et al.* 2000).

2.8.3.4. Indicadores de fermentación

Establecido por Reyes y Capriles (2000) y Cabrera, citado por Riera (2009), los indicadores en la fermentación son:

- ⊕ Aumentos de temperatura, la cual se ubica por encima de 40 °C en los fermentadores para cacao trinitarios al cabo de 48 horas y por encima de 36°C a las 24 horas, cuando se utiliza el sistema Rohan o el fermentador Reymol (huacal plástico).

- ⊕ El mucílago que cubre el grano empieza a perderse y cambia su color blanco por uno rojo claro o rosado.
- ⊕ La temperatura en el sistema comience a descender.
- ⊕ El grano se hincha.
- ⊕ Se ha producido la muerte del embrión.
- ⊕ Al partir los granos en sentido longitudinal, se observa un color pálido en el centro, rodeado por una circunferencia de color café oscuro.
- ⊕ Al cortar un grano con una navaja afilada escurre un líquido abundante de color vino tinto.

2.8.3.5. Tipos de fermentadores

Este factor es uno de los más estudiados el cual varía de acuerdo al país o zona cacaotera (Martínez 2015), o por el volumen siendo complejo y costoso cuando las cantidades son grandes (Bravo y Mingo 2011).

Los tipos de fermentador más utilizados son:

2.8.3.5.1. Cajones de madera a un nivel

Los cajones se construyen con tablones de maderas finas, preferentemente blancas, resistentes a la humedad tales como el cedro, nogal, laurel, que no desprendan sustancias extrañas, como por ejemplo los taninos, que interfieren con la calidad final del cacao (Bravo y Mingo 2011).

El cajón, debe descansar sobre soportes separados del suelo a una altura aproximada de 0.2 m colocados de tal forma que permitan operatividad en el sistema. Las dimensiones de los cajones varían de acuerdo a la producción del predio y se sugiere de (0.60 x 0.60 x 0.60) m o (1.0 x 1.0 x 1.0) m dependiendo del volumen de producción de cada plantación (Bravo y Mingo 2011).

2.8.3.5.2. Cajones de madera tipo escalera

Estos tipos están formados por una o varias series de tres cajones de madera, colocados a diferentes niveles formando una escalera (Palacios 2008).

Según Martínez (2015), las dimensiones deben ser de 1 m de largo, 0.70 m de ancho y 0.65 m de profundidad. Se debe prever que el fondo de la caja tenga agujeros de 0.5 cm de diámetro con una separación de 10 cm entre ellos para permitir el escurrimiento del mucílago y la aireación. Es necesario puntualizar, que el cacao recién cosechado se coloca en el cajón

superior y durante la primera remoción (a las 24 horas), la masa se vierte en el cajón inmediatamente inferior mediante la apertura de la puerta móvil. Luego de transcurrido igual tiempo la masa se vierte al cajón inferior. Este procedimiento propicia la aireación de la masa, condición que es de gran importancia para el normal desarrollo del proceso fermentativo (Bravo y Mingo 2011).

2.8.3.5.3. Bandejas o sistemas Rohan

Camillas construidas con madera y bambú (marco de madera y fondo de bambú), el fondo debe tener ranuras de 4 – 5 mm, para facilitar la salida de lixiviado. Generalmente las dimensiones de las camillas son de 1.20 m de largo, 0.85 m de ancho y 0.10 m de profundidad, para una capacidad de 65 kg de cacao fresco (Martínez 2015).

2.8.3.5.4. Sacos

Consiste en recolectar los granos en sacos de yute o polipropileno y colgarlos. Se cambia de saco cada día y medio o cada dos días. Pueden pasar en los sacos por un periodo de 4 a 6 días (Malespín 1982).

En algunas ocasiones los sacos se cuelgan, para que tengan mejor aireación y sufran menos ataques de animales que puedan causar daño al proceso, o alternativamente, se aglomeran los sacos en el piso asegurándose que el material este fuera del alcance de vectores que le puedan producir alteraciones. Con la finalidad que la masa fermentante se mezcle adecuadamente, el agricultor acostumbra cambiar de recipiente cada dos días, o cada día y medio. Si el recipiente se deja por más de tres días sin remover, la fermentación resulta deficiente y la mayoría de los granos en el centro del proceso quedan sin fermentar. Es importante que los sacos estén bien limpios o sean nuevos. para evitar que la calidad final del cacao se vea afectada (Bravo y Mingo 2011).

2.8.3.6. Tiempo de Fermentación

El tiempo estimado de fermentación se ve afectado por distintos factores: clima, especie, tipo de fermentador, necesidades del agricultor. Existen investigaciones en este campo que han determinado los tiempos más adecuados para obtener una mejor calidad del producto. (Martínez 2015).

Martínez (2015), sostiene que se necesitan dos días de fermentación para el cacao criollo, a diferencia de seis o más días para los trinitarios. En República Dominicana, se determinó que el tiempo óptimo para tener un mayor porcentaje de fermentación es de seis días; sin embargo,

existen estudios que sugieren que con cinco días de fermentación se obtiene una mejora en la calidad del cacao dominicano (Trinitario).

Asimismo, Loor (2006) y Reyes *et al.* (2000) afirma que la duración del sistema de fermentación no debe ser mayor de tres días para el cacao criollo o de cotiledón blanco, entre el quinto y sexto día de fermentación para el cacao trinitario y de ocho para el cacao forastero o de cotiledón morado o púrpura (Figura A - 2).

2.8.3.7. Volteo y remoción de los granos

Este aspecto por lo general va combinado con el tiempo de fermentación, y el tipo de fermentador, ya que entre más grande sea la capacidad del fermentador más exigido será la remoción (Enríquez, citado por Martínez 2015).

La falta de volteo o realizarlo inadecuadamente, hará que una gran porción de la masa de cacao (grano con mucílago) quede sin fermentar y se generaría un medio óptimo para la propagación de mohos, además de la desecación de los granos que se encuentran en la superficie, disminuyendo así la calidad del grano (Martínez 2015).

Ávila *et al.* (2013), recomienda realizar tres volteos: el primero a las 24 horas, cuando se ha alcanzado una temperatura de más de 30 a 35 grados centígrados. El segundo volteo se realiza a las 48 horas y el tercer volteo a las 72 horas.

Por su parte Saltos *et al.*, citado por Sánchez (2007) afirman que el volteo debe realizarse a las 24 horas en el caso del cacao criollo y cada dos días, en el caso de forasteros y trinitarios, evitando así la proliferación de mohos y la desecación de las almendras que se encuentran en la superficie; la remoción diaria permite un incremento más rápido de la temperatura por lo tanto una fermentación más homogénea y de menor duración.

2.8.3.8. Métodos de fermentación

2.8.3.8.1. Método tradicional

El método tradicional consiste fermentar en un periodo de 5 a 6 días en cajones de madera tipo escalera los cuales están formados por una o varias series de tres cajones, colocados a diferentes niveles, formando una escalera (Palacios 2008). Generalmente en este tipo de fermentación, la parte frontal del cajón es móvil, para facilitar la remoción de la masa fermentante (Bravo y Mingo 2011).

El cacao fresco recién cosechado se coloca en el cajón superior y luego de 48 horas se realiza la primera remoción con una pala de madera, vertiendo la masa en el cajón inmediatamente inferior mediante la apertura de la puerta móvil. Luego de transcurrido igual tiempo la masa se vierte al cajón inferior. Este procedimiento propicia la aireación de la masa, condición que es de gran importancia para el normal desarrollo del proceso fermentativo (Bravo y Mingo 2011).

2.8.3.8.2. Método con Presecado

Luego del desgrane, el cacao en baba se coloca en sacos bien perforados tipo cebolleros o de malla para que desde el inicio haya un drenaje del exceso de mucílago, sin permitir que los granos salgan del saco. Ese mismo día por una noche se dejan los sacos reposados en un entablado contribuyendo al proceso de escurrido del mucílago (CANACACAO s.f.).

Al siguiente día en la mañana se coloca el cacao en un tendal de cemento para hacer el presecado, que consiste en perder el exceso de mucílago que queda en el grano, generalmente cuando existe un sol intenso este proceso dura de 5 a 7 horas, cuando no hay suficiente sol se lo deja por dos días o se le hace un presecado adicional en una secadora artificial. Para determinar el punto exacto del presecado se agarran granos semi secos en la palma de la mano, se hace una pequeña presión haciendo puño y si al abrir la mano los granos todavía están juntos le falta perder mucílago, si se separan los granos en la mano está listo para el siguiente paso (CANACACAO s.f.).

Después del presecado, se pasan los granos a la fermentación, la cual se realiza en sacos en un periodo de dos a tres días, el efecto del presecado hace que los granos entren semi calientes a este proceso, logrando de manera más rápida un aumento de temperatura en los granos. Se aplican volteos una vez al día para permitir la aireación. Además, se colocan plásticos sobre los sacos para ayudar a conservar el calor en la fermentación. Para comprobar si se realizó una buena fermentación se parten 10 granos y si ha muerto el embrión en 7 de ellos se considera una buena fermentación (CANACACAO s.f.).

2.8.3.9. Temperatura en la fermentación

En un proceso de fermentación se desarrolla calor siendo la reacción de tipo exotérmico para el caso del cacao es -75 kJ/mol de levadura, en consecuencia, hay un incremento importante de temperatura en el proceso (Bravo y Mingo 2011).

Durante los primeros días de fermentación la temperatura llega hasta los $45 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$, después de la primera remoción, luego empieza a descender lentamente y vuelve a subir cuando se

realiza la segunda remoción, llegando al final a subir hasta los 48 - 50 °C, para luego disminuir una vez que ha concluido el proceso de fermentación (Wood, citado por Palacios 2008).

El embrión en el interior del grano muere cuando además de cambiar el pH por efecto de la presencia del ácido acético que se ha difundido a través de la testa, la temperatura interna del grano llega a 45°C, marcándose el inicio de los cambios bioquímicos que conducirán a la formación de los precursores del sabor y aroma a chocolate (Enríquez, citado por Palacios 2008).

2.8.3.10. pH en la fermentación

El pH varía por diferentes situaciones que se presentan en la fermentación desde los procesos de degradación por acción de microorganismos, así como por efectos de mezclado o volteo (Senanayake, citado por García 2000).

Existen significativas diferencias en cuanto al pH inicial en el mucílago y cotiledón antes del proceso de fermentación, esto se debe principalmente al contenido de ácido cítrico en el mucílago (García 2000). Según Enríquez (1985), Jinap, citado por Recalde (2007) y Hernández, citado por Sánchez (2007), mencionan que el pH inicial de los cotiledones es de 6.6 y el de la pulpa varía de 3.4 a 4.6.

El pH de los cotiledones durante el primer día de fermentación decrece lentamente (hasta 6.3), pero durante el tercer y cuarto día baja rápidamente hasta alcanzar un valor de 4.75 aproximadamente; este valor sufre muy pocos cambios hasta que se termina la fermentación (Enríquez 1985), asimismo, Wood, citado por Sánchez (2007), menciona que por acción del ácido acético al tercer día el pH baja a 4,8 y se mantiene durante el resto de la fermentación debido a la permeabilidad de la testa, dato confirmado por Jinap, citado por Recalde (2007), quien menciona que después de la fermentación el rango final de pH es de 4.5 a 5.5.

El pH de la testa en cambio, inicia muy bajo favoreciendo cierto tipo específico de microorganismos, su valor sube lentamente hasta llegar a 4.0 (Enríquez 1985); causado por la pérdida de ácido cítrico debido al drenaje de los jugos y por el metabolismo microbiano (López, citado por Recalde 2007), pero durante el tercer día este valor sube rápidamente hasta igualar al comienzo del cuarto día el valor del pH de 4.75 del cotiledón, durante el resto de la fermentación y hasta medio día de secado tiene un aumento hasta 5.2. (Enríquez 1985), llegando a un pH al final del secado de 6.8 (Jinap, citado por Recalde 2007).

2.8.3.11. Alcohol en la fermentación

En cuanto los granos dentro de la vaina son removidos, inicia la inoculación de microorganismos, entre estos se encuentran las levaduras quienes incrementan rápidamente favorecidas por el pH ácido, la gran cantidad de azúcar presente en el mucílago y el bajo contenido de oxígeno de la masa (Braudeau, citado por Enríquez 1985).

Bajo el efecto de estas levaduras, los azúcares de la pulpa son transformados en alcohol etílico con desprendimiento anhídrido carbónico. La fermentación alcohólica provoca una elevación de la temperatura al mismo tiempo que una disminución de pH. Algunas levaduras producen enzimas pectolíticas, las cuales rompen las paredes celulares de la pulpa provocando el drenaje de los jugos y la formación de espacios entre las almendras a través de las cuales el aire puede penetrar (López, citado por Enríquez 1985).

La pérdida de ácido cítrico por el drenaje de los jugos y por el metabolismo microbiano causa un aumento de pH, que conjuntamente con los elevados niveles de alcohol y una mejor aireación, inhiben a las levaduras de manera que su actividad desaparece (López, citado por Enríquez 1985).

2.8.3.12. Ácidos en la fermentación

Debido al proceso de fermentación, en el mucílago el ácido cítrico se degrada, incrementándose el pH y el ácido acético formado en la fase aerobia migra hacia el cotiledón. En el cotiledón el comportamiento de pH en un principio desciende por la presencia de ácido acético y posteriormente se incrementa debido a las reacciones que ocurren entre ácido acético y diferentes fracciones de proteínas (García 2000).

Las bacterias acéticas transforman por oxidación el alcohol etílico en ácido acético, esta reacción es exotérmica por lo que causa una elevación en la temperatura de la masa de fermentación (Braudeau, citado por Enríquez 1985).

Los ácidos orgánicos producen la muerte del embrión, evitan la germinación, permiten la vacuolización y pérdida celular que ayuda a la distribución de enzimas por el tejido y su mezcla con el sustrato, produciendo así las reacciones de formación de los precursores del aroma a chocolate, así también, protegen al grano de las bacterias de putrefacción que proveen al grano de aromas rancios (Armijos 2002).

2.8.4. Secado

Mediante este proceso el contenido de agua, la acidez y la astringencia del grano disminuyen, y el pH aumenta a 5,5 (Wood, citado por Sánchez 2007), dato confirmado por Enríquez (1985) quien indica que durante el secado el pH sube en forma lenta llegando hasta 5.4, siendo estas características importantes de calidad del grano.

En el proceso de secado se debe revolver la masa de cacao frecuentemente para la distribución uniforme del calor para ello deben usarse utensilios de madera. En forma práctica el punto de secado se conoce tomando un puñado de granos y si al oprimirlos crujen es señal de que están en el grado de sequedad requerido (FEDECACAO 2004).

Al final de la fermentación existe un contenido de humedad en los granos (cotiledón y testa) alrededor del 55%; la misma, que debe bajar de 6 a 7 % para el almacenamiento seguro. Además, con el secado continúan dándose cambios químicos hasta que se detienen por la falta de humedad o inactivación de las enzimas (Wood, citado por Palacios 2008).

Durante el secado el aire penetra al grano a través de la cutícula o testa, oxidando a los polifenoles restantes, siendo la continuación de reacciones bioquímicas internas que condicionan en gran parte el sabor y aroma del producto (Gutiérrez, citado por Palacios 2008).

Generalmente se utilizan tendales de cemento, madera, caña y otros, las dimensiones pueden variar, pero la gran mayoría de las fincas cacaoteras son pequeñas y utilizan el recurso que tengan a la mano y en muchos casos materiales que ponen en peligro la calidad de los granos. Otros utilizan secadoras artificiales para acelerar el proceso (Enríquez, citado por Martínez 2015).

2.9. Calidad del grano de cacao fermentado

Las mejores condiciones de una buena fermentación se consiguen bajo una aireación y humedad apropiada. El tiempo es un factor principal que determina el buen éxito de este proceso; cuanto más rápido se produzca la muerte de los embriones, más rápidamente tendrán lugar las reacciones enzimáticas capaces de producir las transformaciones bioquímicas que conducen a los precursores del sabor (Martínez 2015).

El pH óptimo para un cacao de calidad debe encontrarse en un rango de 5,1 a 5,4 cualquier cacao con un pH menor a 5,0 indica presencia de ácidos no volátiles indeseables que dan al producto aromas desagradables, que perjudican a la producción del chocolate (Armijos 2002).

2.9.1. Calidad física del grano

La calidad física se basa principalmente en la presentación exterior del grano, mediante la calificación que imponen los países compradores y fabricantes de chocolate a los granos de cacao por su apariencia física (Figura A - 3), humedad, contenido de materiales extraños, mohos, insectos y por su sabor y aroma intrínseco o propio de cada variedad o genotipo (Vallejo y Quingaísa, citado por Vera y Murillo 2010).

Por lo que la calidad del aroma está compuesta por una fracción constitutiva (presente en el grano fresco), desarrollada durante la fermentación y secado y por una fracción formada durante el tostado. La fermentación puede considerarse como la etapa clave de la formación del aroma. En efecto, esta operación lleva no solamente a una profunda modificación del contenido de compuestos implicados en el desarrollo del aroma de origen térmico, pero también en la formación de una fracción aromática cualitativa y cuantitativamente muy importante (Cros 2000).

2.9.1.1. Conceptos para la calidad física de los granos de cacao

2.9.1.1.1. Grano bien o totalmente fermentado

Es aquel cuyo proceso de fermentación ha sido completado, y los cotiledones presentan una coloración marrón a marrón rojiza, y las estrías bien definidas o profundas (INTECO 2009). Internamente los ácidos han matado al embrión, además, son granos muy hinchados y se separan fácilmente del cotiledón. La calidad del sabor y aroma del grano es óptima para elaborar chocolates gourmet (Stevenson *et al.* 1993).

2.9.1.1.2. Grano parcialmente fermentado

Es el grano con una fermentación incompleta, cuyos cotiledones presentan un color violeta o marrón violeta, de estructura semicompacta (INTECO 2009), debido al mal manejo durante el beneficiado (INEN 2006). Representa una fermentación parcial, los ácidos no han penetrado, los cotiledones están poco compactos y la testa algo suelta. La calidad del sabor es regular pero aprovechable para producir chocolate (Stevenson *et al.* 1993).

2.9.1.1.3. Grano violeta

Grano cuyos cotiledones presentan un color violeta intenso, debido al mal manejo durante el beneficiado (INEN 2006), son aquellos que no se han fermentado completamente, por ello aparecen ácidos procedentes de la pulpa. Los granos no están hinchados y la apariencia interna es compacta, desarrollan un sabor astringente y ácido (Stevenson *et al.* 1993).

2.9.1.1.4. Grano pizarroso (pastoso)

Es un grano sin fermentar, que, al ser cortado longitudinalmente, presenta en su interior un color gris negruzco o verdoso y de aspecto compacto (INEN 2006), por lo que desarrollan sabores amargos y astringentes, el color gris pizarra es un defecto muy serio para cualquier procesador (Stevenson *et al.* 1993).

2.9.1.1.5. Grano mohoso

Grano que ha sufrido deterioro parcial o total en su estructura interna debido a la acción de hongos (INTECO 2009). La presencia de estos hongos dentro de los cotiledones de cacao destruye totalmente el sabor al grano, aunque los organismos presentan varios colores (blanco, amarillo gris, otros), causan el mismo efecto sobre los sabores del chocolate y la manteca. Las condiciones que promueven hongos incluyen: germinación, quiebre o corte de granos, entrada de insectos, secado no adecuado y almacenamiento en humedad relativa superior al 85% (Stevenson *et al.* 1993).

2.9.1.1.6. Grano infestado por insectos

Es el grano de cacao cuyo interior se detectan insectos en cualquier fase de desarrollo (huevos, larvas, adultos) (INTECO 2009).

2.9.1.1.7. Grano germinado

Es aquel que ha sufrido deterioro evidente en su estructura por el proceso de germinación (INTECO 2009). Proviene de mazorcas posiblemente sobremaduras y constituyen un defecto serio. Durante el almacenamiento hongos e insectos aprovechan el hueco en la semilla para penetrar dentro de ellas (Stevenson *et al.* 1993).

2.9.1.1.8. Grano vano o pasilla

Es un grano cuyos cotiledones se han atrofiado hasta tal punto que cortando la semilla no es posible obtener una superficie de cotiledón (INEN 2006), son inútiles para la producción de chocolate ya que el grano casi no contiene cotiledones y mucho de su peso es cascarilla. El origen aplanado se debe a la cosecha de mazorcas no maduras (verdes) (Stevenson *et al.* 1993).

2.9.1.2. Clasificación de calidad física en el grano de cacao

Según INTECO (2009) el cacao en grano se clasifica según las características de calidad de sus granos de la manera siguiente:

2.9.1.2.1. Cacao fermentado Grado I

Son granos con un máximo de 34% de defectos tales como: 25% de granos violetas, 3% de granos germinados o planos, 1% de granos partidos, 2% de granos dañados por insectos, 1% de granos pizarrosos y 2% de grano mohoso. Con una humedad máxima del 7.5% y tamaño máximo de 95 granos en 100 gr.

2.9.1.2.2. Cacao fermentado Grado II

Granos con un máximo de 43% de defectos tales como: 30% de granos violetas, 3% de granos germinados o planos, 1% de granos partidos, 3% de granos dañados por insectos, 3% de granos pizarrosos y 3% de grano mohoso. Con una humedad máxima del 7.5% y tamaño máximo de 95 granos en 100 gr.

2.9.1.2.3. Cacao sin fermentar

Granos con gran cantidad de defectos tales como: ilimitados granos violetas, 3% de granos germinados o planos, 1% de granos partidos, 3% de granos dañados por insectos, ilimitados de granos pizarrosos y 4% de grano mohoso. Con una humedad máxima del 8.0% y tamaño máximo de 95 granos en 100 gr.

2.10. Pruebas para determinar el grado de fermentación y la calidad física en el grano

2.10.1. Prueba de agua

Una forma rápida fácil pero no precisa para determinar el porcentaje de fermentación es la prueba de agua que se basa en el uso de la densidad, ya que, el grano fermentado es de apariencia hinchada y con aire en su interior, lo cual le permite flotar al suspenderse en el agua (Saavedra 2012). Para poder aplicarla, se requirieren de 100 granos de muestra vertidos en una probeta de 1000 ml llena de agua destilada. Los granos que no se sumergen en el fluido y se mantienen en la superficie, son aquellos que han llegado a una buena fermentación. Los que se ubican en medio de la probeta se considera que han sufrido una mediana fermentación, por último, los que llegan al fondo del recipiente son los que han sufrido una mínima fermentación (Figura A - 4) (Bravo y Mingo 2011).

2.10.2. Prueba de corte

Es una forma de determinar el grado de fermentación con efecto directo sobre el sabor y debe ser realizada en un tiempo máximo de 30 días después del secado, para evitar el efecto de oxidación. Esta es una prueba subjetiva que involucra la evaluación visual, ya que, la oxidación de los tejidos del grano hace que los colores internos cambien naturalmente pudiendo tener color marrón, pero un sabor y aroma de baja calidad (Stevenson *et al.* 1993).

La prueba se fundamenta en características físicas del grano una vez que ha sufrido el proceso de fermentación y secado; a 100 granos seleccionados se les realiza un corte longitudinal por la parte central, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones identificando así la calidad del producto (INEN 2006).

La función de la prueba de corte es disminuir el riesgo de que el comprador acepte cacao con graves defectos económicos y en menor grado de sabor (Stevenson *et al.* 1993).

2.11. Composición química del grano de cacao fermentado y seco

Según Wakao, citado por Palacios (2008), la composición química de los granos de cacao fermentado (Cuadro A - 3), depende de varios factores entre los que se puede citar: Tipo de cacao, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado y además el subsiguiente procesamiento de los granos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación se llevó a cabo en el centro de acopio de la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria “Cacao Los Izalcos” de Responsabilidad Limitada ACPACI de R. L., ubicado en Finca San Luis, Cantón Aguacaliente, Caluco, Sonsonate, El Salvador (Figura 1). Situada en la altitud y coordenadas siguientes:

- ⊕ Latitud: 13°43'26.3" N
- ⊕ Longitud: 89°39'57.3"W
- ⊕ 375 msnm.

El centro de acopio consta de tres áreas:

Bodega: Inmueble donde se encuentran los instrumentos de medición y las herramientas para la fermentación y monitoreo del proceso.

Fermentación: Estructura de cemento y plástico en cada una de las paredes, con techo de lámina, en donde se encuentran los cajones tipo escalera y cajas Rohan.

Secado: Área destinada para el secado del grano en marquesinas de madera posterior a la fermentación.

3.2. Descripción del estudio

El proyecto se desarrolló en siete meses, de mayo a noviembre de 2016, dos de ellos fueron para la fase de campo, realizando tres procesos de fermentación, con un total de 24 unidades experimentales, comprobando si los métodos de fermentación (sin y con presecado) y los fermentadores (cajón y saco) influyen en el desarrollo de la calidad del grano de cacao trinitario. En los meses de agosto a noviembre se desarrollaron los análisis de contenido de

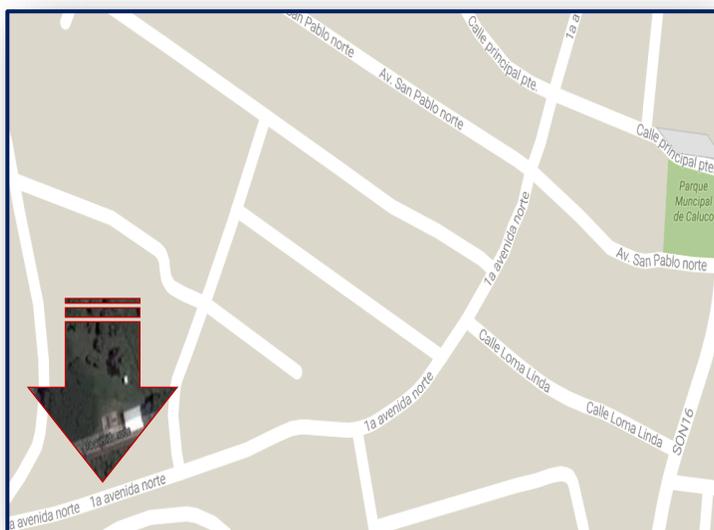


Figura 1. Plano de ubicación del centro de acopio ACPACI de R.L.



Figura 2. Centro de acopio ACPACI de R.L.

grasa, proteína y ceniza en laboratorio de Laboratorio de Química Agrícola, además de evaluar la calidad del grano por el método de corte y prueba de agua en el laboratorio 4 de la Facultad de Ciencias Agronómicas (CCAA) de la Universidad de El Salvador (UES).

3.3. Metodología de campo

3.3.1. Material Vegetal

Se utilizó cacao trinitario (Figura 3) proveniente de las fincas de los socios de ACPACI de R.L., localizadas en los municipios de: Caluco, Nahulingo, Izalco y Nahuizalco, Sonsonate, El Salvador (Cuadro 1).



Figura 3. Mazorcas de cacao trinitario utilizadas en la investigación

Cuadro 1. Información de las fincas de ACPACI de R.L.

Nombre del productor	Área de la finca
Ana Pérez	0.35 ha (0.5 mz)
Ricardo Monzón	0.70 ha (1.0 mz)
Adonaldo vides	0.70 ha (1.0 mz)
Ricardo Pérez	1.40 ha (2.0 mz)
Jaime Arévalo	2.10 ha (3.0 mz)
Rigoberto Massín	2.10 ha (3.0 mz)
Roberto Navarro	7.00 ha (10.0 mz)
Gloria Herrera	7.00 ha (10.0 mz)

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Cosecha

Los productores cosecharon los frutos homogéneos maduros y sanos (Figura 4), en forma aleatoria, guiándose por el color de la mazorca y por el sonido que hace su interior al ser ligeramente golpeado. Las mazorcas se tomaron del árbol cortándolas por el tallo, las que están al alcance de la mano con una tijera podadora, y las de las ramas más altas con una guillotina para poda, evitando la herida o destrucción de los cojines florales que se encuentran cerca de las mazorcas.



Figura 4. Forma correcta de cosecha de mazorcas de cacao en finca

3.3.3. Quiebra y desgrane de las mazorcas

Se golpeó la mazorca con un mazo de madera (Figura 5), por la fuerza ejercida en dicho golpe la mazorca se abre. Al partir las mazorcas se evitó causar daños mecánicos a los granos, para no predisponerlas al ataque de hongos e insectos. Posteriormente se realizó la extracción de los granos, deslizando los dedos de la mano a lo largo de la placenta o vena central de la mazorca.



Figura 5. Quiebra con mazo y extracción de los granos de las mazorcas

3.3.4. Clasificación y pesado del grano fresco

El grano se clasificó visualmente según el estado de madurez, obteniendo dos categorías (Figura 6):

Categoría A: Grano con gran cantidad de mucílago.

Categoría B: Grano con poca cantidad de mucílago.

Posteriormente se pesaron 4.0 kg de cacao fresco (grano cubierto de mucílago), en una balanza digital marca ADAM con capacidad de 5.0 kg para ser colocados aleatoriamente en cada uno de los fermentadores.



Figura 6. Clasificación de dos categorías del grano según la cantidad de mucílago

3.3.5. Presecado del grano fresco

Con el fin de evaluar la fermentación según CANACACAO (s.f.) y la experiencia de los productores en Sur América, el cacao fresco de cada clasificación se separó en dos, un grupo con presecado y otro sin presecado antes de la fermentación.

El presecado consistió en dejar por una noche los granos dentro de sacos reposados en un entablado, ayudando a que continúe el proceso de escurrido del mucílago. Al día siguiente por la mañana, se colocó el cacao en un tendal con exposición directa al sol (Figura 7), con el fin de perder el exceso de mucílago que queda en el grano, dejándolo por siete horas. Haciendo un total de 24 horas en este proceso.

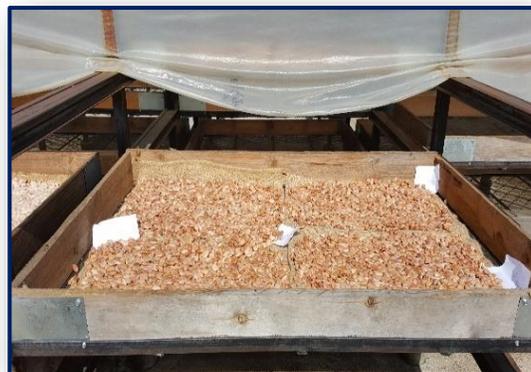


Figura 7. Grano de cacao sometido al proceso de presecado en una bandeja para secado de madera

3.3.6. Tipos de fermentadores

Se utilizaron dos tipos de fermentadores: cajas de madera y sacos de yute, con el fin de comparar el aporte de ambos al proceso de fermentación, y que, combinados con los métodos, contribuyan en la calidad del grano de cacao.

3.3.6.1. Caja de madera

Caja de madera de cedro de 20 cm de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de profundidad, con agujeros de 1 cm de diámetro separados a 5 cm entre ellos, permitiendo la salida del lixiviado del mucílago. Las cajas fueron cubiertas con plástico, luego con sacos de yute y posteriormente con plástico para preservar la temperatura de la masa cacao.

3.3.6.2. Saco de yute

Sacos de yute de 50 cm de largo y 65 cm de ancho, los cuales fueron cubiertos con plástico luego con sacos de yute y posteriormente con plástico para mantener la temperatura de los granos.

3.3.7. Volteo y remoción

Atendiendo a que la característica del tipo genético predominante en las fincas es trinitario, se volteó cada uno de los tratamientos siguiendo el tiempo establecido por Bravo y Mingo (2011), Rufino *et al.* (2012) y la recomendación de Lambert (s.f.) de realizar los volteos a las 48, 72, 96 y 120 horas durante el proceso de fermentación. Dicho proceso consistió en mezclar los granos con la mano, pasando los que están en la parte superior hacia abajo y los de abajo hacia arriba del fermentador, con el fin de homogenizar la temperatura y permitir la correcta aireación para dar lugar a los cambios bioquímicos necesarios.

3.3.8. Días de fermentación

El proceso tuvo una duración de 6 días, para todos los tratamientos en estudio, siguiendo el protocolo de fermentación de cacao de Ramos (2017), así como lo establecido por Loor (2006) y Martínez (2015), quienes afirman que es el tiempo necesario, para la fermentación del cacao trinitario.

3.3.9. Análisis físico químicos durante la fermentación

Para la adecuada medición del proceso de fermentación, cada 24 horas iniciando a las 8:00 a.m. con el tratamiento uno hasta finalizar con el tratamiento ocho se midió: temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de los granos, además de pH, grados Brix, porcentaje de acidez y grados de alcohol en cotiledón, testa (mucilago y la película o capa que cubre al grano) y lixiviado (líquido que escurre de la testa), así también el estado del embrión, fraccionamiento y color interno del grano.

A pesar que las medidas descritas anteriormente se efectuaron desde el desgrane de las mazorcas, el día de presecado no se incluye en las tablas y figuras, ya que las comparaciones son del proceso de fermentación; así mismo, los resultados presentados son el valor promedio de las repeticiones realizadas en los tres procesos de fermentación.

3.3.9.1. Medición de temperatura ambiente y humedad relativa

Durante cada jornada de trabajo se tomó la temperatura ambiente y humedad relativa del centro de acopio ACPACI de R.L. con un termohigrómetro HANNA HI 9564 (Figura 8).

El procedimiento para la lectura fue:

- ⊕ Colocar el termohigrómetro en una superficie.
- ⊕ Presionar el botón ON/OFF.
- ⊕ Anotar la lectura de temperatura.
- ⊕ Presionar el botón RANGE.
- ⊕ Anotar la lectura de humedad relativa.
- ⊕ Presionar el botón ON/OFF.



Figura 8. Termohigrómetro HANNA HI 9564, para la medición de humedad relativa y temperatura

3.3.9.2. Medición de temperatura de los granos

Antes de cada volteo se tomó la temperatura de cada tratamiento en cuatro puntos, con un termómetro digital HANNA HI 93503 y tres termómetros DIGIFLEX TP101 (Figura 9).

El procedimiento de toma de temperatura fue:

- ⊕ Limpieza de la sonda de medición con agua destilada.
- ⊕ Distribución de los cuatro termómetros dentro del fermentador.
- ⊕ Encendido del termómetro presionando el botón ON/OFF.
- ⊕ Esperar 1 minuto para la estabilización de la temperatura.
- ⊕ Anotar la lectura.



Figura 9. Medición de temperatura masa de cacao con termómetros HANNA HI 93503 y DIGIFLEX TP101

3.3.9.3. Medición de pH

Se midió con un pH-metro digital OAKTON pHTestr 10 (Figura 10), el valor del pH del cotiledón y testa, con el fin de conocer su comportamiento durante el proceso y principalmente durante el último día, ya que, según Ramos (2017), si ambos convergen en el mismo valor, es el momento indicado para finalizar la fermentación. La medición del lixiviado en cambio se realizó con el fin de documentar sus cambios y tener un precedente para futuras investigaciones.

Proceso para la medición del pH en el lixiviado:

- ⊕ Limpieza con agua destilada del electrodo del pH-metro.
- ⊕ Presionar el botón ON/OFF del pH-metro.
- ⊕ Colocar 5 ml de lixiviado en el depósito del pH-metro.
- ⊕ Medir el producto resultante.
- ⊕ Anotar la lectura.

Proceso para la medición del pH en la testa:

- ⊕ Limpieza con agua destilada del electrodo del pH-metro.
- ⊕ Colocar 5 testas (cascara del grano) en un mortero.
- ⊕ Adicionar 50 ml. de agua destilada.
- ⊕ Triturar la testa con un pistilo.
- ⊕ Presionar el botón ON/OFF del pH-metro.



Figura 10. Uso del pH-metro digital OAKTON pHTestr 10 en la medición de testa

- ⊕ Colocar el electrodo del pH-metro en la pasta de testa macerada.
- ⊕ Anotar la lectura.

Proceso para la medición del pH en el cotiledón:

- ⊕ Limpieza con agua destilada del electrodo del pH-metro.
- ⊕ Colocar 5 cotiledones (grano sin testa) en un mortero.
- ⊕ Adicionar 100 ml. de agua destilada.
- ⊕ Triturar los cotiledones con un pistilo.
- ⊕ Presionar el botón ON/OFF del pH-metro.
- ⊕ Colocar el electrodo del pH-metro en la pasta de granos macerados.
- ⊕ Anotar la lectura.

3.3.9.4. Medición de grados Brix y porcentaje de acidez

Se midieron los grados Brix y el porcentaje de acidez con un refractómetro PAL-BX ACID181 (Figura 11). En testa se cuantificaron los grados Brix con el objetivo de conocer la cantidad de azúcares disponibles al principio de la fermentación y ver su cambio con el paso del tiempo. En el cotiledón se midió para indagar si hay cambios de este parámetro durante la fermentación.

La acidez en testa se determinó con el fin de monitorear su evolución y constatar si existe una fermentación acética durante el proceso. En el cotiledón se realizó para cuantificar la aseveración de Reyes *et al.* (2000), sobre que el ácido acético generado en la testa es el que ingresa al cotiledón para matar al embrión.

Los grados Brix y el porcentaje de acidez en el lixiviado, fueron medidos para evidenciar su comportamiento durante el proceso y tener un antecedente para próximas investigaciones.

Proceso para la medición de grados Brix y porcentaje de acidez en el lixiviado:

- ⊕ Limpiar con agua destilada del prisma.
- ⊕ Secar el prisma con papel toalla.
- ⊕ Poner 2 ml. de agua destilada.
- ⊕ Presionar el botón START.
- ⊕ Con la lectura de 0.0 Brix presionar nuevamente el botón START.
- ⊕ Aparecerá en la pantalla 0.00 de acidez.
- ⊕ Limpiar nuevamente el prisma.

- ⊕ Colocar 0.2 ml de lixiviado en el prisma.
- ⊕ Presionar el botón START.
- ⊕ Anotar la lectura de grados Brix.
- ⊕ Adicionar 10 ml. de agua destilada.
- ⊕ Presionar START nuevamente.
- ⊕ Anotar la lectura del porcentaje de acidez peso/volumen.

Proceso para la medición de grados Brix y porcentaje de acidez en la testa y cotiledón:

- ⊕ Limpiar con agua destilada del prisma.
- ⊕ Secar el prisma con papel toalla.
- ⊕ Poner 2 ml. de agua destilada.
- ⊕ Presionar el botón START.
- ⊕ Con la lectura de 0.0 Brix presionar nuevamente el botón START.
- ⊕ Aparecerá en la pantalla 0.00 de acidez.
- ⊕ Limpiar nuevamente el prisma.
- ⊕ Colocar 5 gr, de muestra en un mortero.
- ⊕ Adicionar de 100 ml de agua destilada.
- ⊕ Triturar con un pistilo.
- ⊕ Colocar 0.2 ml del producto resultante en el prisma.
- ⊕ Presionar el botón START.
- ⊕ Anotar la lectura de grados Brix.
- ⊕ Presionar START nuevamente.
- ⊕ Anotar la lectura del porcentaje de acidez peso/volumen.



Figura 11. Medición de grados Brix y acidez en lixiviado con el refractómetro PAL-BX ACID181

3.3.9.5. Determinación de porcentaje de alcohol

Se midió el porcentaje de alcohol con un refractómetro PET - 109 (Figura 12). En testa para monitorear su evolución y cuantificar la fermentación anaerobia, en cotiledón con el fin de conocer si hay penetración desde la testa; en lixiviado para evidenciar su variación y tener un antecedente.



Figura 12. Medición de porcentaje de alcohol con refractómetro PET - 109 en cotiledón

Proceso para la medición de porcentaje de alcohol en el lixiviado:

- ⊕ Limpiar con agua destilada del prisma.
- ⊕ Secar el prisma con papel toalla.
- ⊕ Poner 1 ml de agua destilada.
- ⊕ Presionar el botón START.
- ⊕ Presionar el botón ZERO para calibrar.
- ⊕ Limpiar nuevamente el prisma.
- ⊕ Colocar 0.2 ml de lixiviado en el prisma.
- ⊕ Presionar el botón START.
- ⊕ Anotar la lectura de porcentaje de alcohol peso/peso.
- ⊕ Dividir el valor numérico obtenido entre 2.5.
- ⊕ Anotar el resultado como porcentaje de alcohol volumen/volumen.

Proceso para la medición de porcentaje de alcohol en la testa y cotiledón:

- ⊕ Limpiar con agua destilada del prisma.
- ⊕ Secar el prisma con papel toalla.
- ⊕ Poner 1 ml. de agua destilada.
- ⊕ Presionar el botón START
- ⊕ Presionar el botón ZERO para calibrar.
- ⊕ Limpiar nuevamente el prisma.
- ⊕ Colocar 5 gr, de muestra en un mortero.
- ⊕ Adicionar de 100 ml de agua destilada.
- ⊕ Triturar con un pistilo.
- ⊕ Colocar 0.2 ml del producto resultante en el prisma.
- ⊕ Presionar el botón START.
- ⊕ Anotar la lectura de porcentaje de alcohol peso/peso.
- ⊕ Dividir el valor numérico obtenido entre 2.5.
- ⊕ Anotar el resultado como porcentaje de alcohol volumen/volumen.

3.3.9.6. Determinación del estado del grano

Se cortaron 10 granos de cada tratamiento longitudinalmente, con un bisturí de hoja N° 20 durante los días de fermentación, con el fin de observar cambios en color, estado del embrión, fisuras internas y presencia de líquido.

3.3.9.6.1. Color interno del grano

Se observó la coloración de los cotiledones (Figura 13), propiedad que es evidente en el proceso de fermentación, cambiando de violeta uniforme a violeta oscuro con halo café. Por lo que, En un área expuesta por el corte en un punto específico de cada grano se determinó el color RGB (sigla en inglés de red, green, blue. Siendo un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios), por medio de fotografía tomada con una cámara del dispositivo móvil Samsung Galaxy Note 5 con autoenfoco, resolución de 16 MP, con apertura máxima de f /1.9. Con el fin de utilizar el código de color generado para próximas investigaciones.



Figura 13. Color del grano y estado del embrión

3.3.9.6.2. Mortalidad del embrión

Se observó el color del embrión para conocer su estado fisiológico cuantificando embriones vivos y muertos. El color café oscuro indicaba la muerte del embrión.

3.3.9.6.3. Presencia de líquido y fisuras internas

El líquido que se desprende del grano al momento del corte fue cuantificado de manera arbitraria con una escala hedónica de seis puntos siendo cero la ausencia total de líquido y cinco es la presencia total de líquido dentro del grano (cuando al cortarlo, salpica desde la inserción del bisturí). De igual manera se ponderaron las fisuras internas con una escala hedónica de seis puntos siendo cero cuando no existen fisuras en el cotiledón y cinco gran cantidad y profundidad de las fisuras.

3.4. Metodología de laboratorio

3.4.1. Secado

Se secaron los granos de cacao fermentados en una estufa eléctrica marca QUINCY LAB modelo 30GC. Se colocaron los granos de cacao fermentados a una temperatura de 55°C, por 32 horas.

El procedimiento del secado fue:

- ⊕ Presionar el botón de encendido de la estufa.
- ⊕ Girar la perilla hasta 55 °C.
- ⊕ Precalentar la estufa durante 30 min.
- ⊕ Seleccionar 300 granos de cada uno de los tratamientos.

- ⊕ Colocar los granos en bandejas debidamente identificadas.
- ⊕ Abrir y distribuir las bandejas dentro de la estufa.
- ⊕ Cerrar la estufa.
- ⊕ Luego de 30 horas verificar el estado del secado.
- ⊕ Medición de humedad del grano con el analizador OHAUS MB45.

3.4.2. Análisis bromatológicos

Se llevaron 26 muestras (tres repeticiones de cada tratamiento y dos muestras frescas de cacao), al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en donde se analizaron los contenidos de proteína por el método de Kjeldahl, grasa por el método de Soxhlet y cenizas por el método gravimétrico, siguiendo las marchas del AOAC (1980).

3.4.3. Determinación del grado de fermentación y calidad del grano

La determinación del grado de fermentación y calidad del grano se obtuvo mediante las pruebas de agua y corte.

3.4.3.1. Prueba de agua

Se basa en el uso de la densidad para verificar el proceso de fermentación que ha sufrido el grano, para poder aplicarla, 100 granos fermentados y secos se vertieron en un cilindro graduado de 1000 ml, conteniendo 1000 ml de agua destilada. Se mezclaron y se dejaron reposar por 3 min. A continuación, se tomó la lectura de la cantidad de granos a lo largo de la columna de agua en el cilindro, los granos que flotan en el cuarto superior del cilindro son considerados bien fermentados, granos localizados en el medio son considerados ligeramente fermentados y granos depositados en el fondo son considerados no fermentados.

3.4.3.2. Prueba de corte y calidad del grano

Se seleccionaron y pesaron 100 granos de cada repetición los cuales se pesaron con una balanza digital marca ADAM con capacidad de 5.0 kg, y se cortaron longitudinalmente a lo ancho con un bisturí de hoja N° 20 para exponer un área interna máxima de los cotiledones. Evaluando color, fisuras internas y presencia de defectos según la norma INTE/ISO 23-02-04-09. Cacao y productos derivados del cacao (Cuadro A - 5).

Se utilizó esta norma debido a que en El Salvador no se cuenta con una propia y está tiene correspondencia con la norma dominicana NORDOM 230, Cacao y productos derivados del cacao. Cacao en grano. Clasificación y requisitos, que a su vez está basada en las ISO ICS 67.140.30.

3.5. Metodología estadística

3.5.1. Diseño estadístico

El montaje de la investigación se realizó bajo un diseño factorial 2^3 en bloques, ya que estudia por cada semana de fermentación (Bloque), el efecto de tres factores considerando dos niveles en cada uno (Cuadro 2), permitiendo el estudio del efecto individual y de interacción entre ellos. Cada réplica de este diseño consiste de $2 \times 2 \times 2 = 8$ combinaciones o tratamientos que se pueden denotar de diferentes maneras. Por lo tanto, al aplicar el diseño factorial 2^3 con tres repeticiones hubo un total de 24 unidades experimentales.

Cuadro 2. Factores y niveles de la investigación

Factor	Niveles	
Contenido de mucilago	Categoría A	Categoría B
Método de fermentación	Sin presecado	Con presecado
Tipo de fermentador	Caja	Saco

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1. Modelo estadístico lineal

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \Delta_l + \varepsilon_{ijklm};$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, 3 \quad m = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

- ⊕ μ : es la media general.
- ⊕ α_i : es el efecto del nivel i-ésimo del factor contenido de mucilago.
- ⊕ β_j : es el efecto del nivel j-ésimo del factor método de fermentación.
- ⊕ γ_k : es el efecto del nivel k-ésimo en el factor tipo de fermentador.
- ⊕ $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$: representan efectos de interacción dobles (de dos factores) en los niveles ij, ik, jk, respectivamente.
- ⊕ $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: es el efecto de interacción triple en la combinación o punto ijk.
- ⊕ Δ_l : es el efecto del bloque l-ésimo.
- ⊕ ε_{ijkl} : representa el error aleatorio en la combinación ijk.
- ⊕ m : son las repeticiones o réplicas del experimento.

Las hipótesis son:

- | | |
|--|---|
| ⊕ $H_0: \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2$ | ⊕ H_A : Al menos una $\mu\alpha_i$ es diferente |
| ⊕ $H_0: \mu\beta_1 = \mu\beta_2$ | ⊕ H_A : Al menos una $\mu\beta_j$ es diferente |
| ⊕ $H_0: \mu\gamma_1 = \mu\gamma_2$ | ⊕ H_A : Al menos una $\mu\gamma_k$ es diferente |
| ⊕ $H_0: (\mu\alpha\beta)_{ij}$ son iguales para todo ij | ⊕ H_A : $(\mu\alpha\beta)_{ij}$ son diferentes para algún ij |
| ⊕ $H_0: (\mu\alpha\gamma)_{ik}$ son iguales para todo ik | ⊕ H_A : $(\mu\alpha\gamma)_{ik}$ son diferentes para algún ik |

- ⊕ $H_0: (\mu\beta\gamma)_{jk}$ son iguales para todo jk
- ⊕ $H_A: (\mu\beta\gamma)_{jk}$ son diferentes para algún jk
- ⊕ $H_0: (\mu\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ son iguales para todo ijk
- ⊕ $H_A: (\mu\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ son diferentes para algún ijk

3.5.2. Tratamientos

Se realizaron 8 tratamientos utilizando cacao trinitario con apertura de mazorca de un día después de acopiado y volteo a las 48, 72, 96 y 120 horas de iniciado el proceso de fermentación, para determinar el método de fermentación y tipo de fermentador que garantice la mayor cantidad y calidad de granos bien fermentados:

- ⊕ T1: Cacao categoría A, con presecado por 24 horas y fermentado en caja de madera.
- ⊕ T2: Cacao categoría A, con presecado por 24 horas y fermentado en sacos de yute.
- ⊕ T3: Cacao categoría A, sin presecado y fermentado en caja de madera.
- ⊕ T4: Cacao categoría A, sin presecado y fermentado en sacos de yute.
- ⊕ T5: Cacao categoría B, con presecado por 24 horas y fermentado en caja de madera.
- ⊕ T6: Cacao categoría B, con presecado por 24 horas y fermentado en sacos de yute.
- ⊕ T7: Cacao categoría B, sin presecado y fermentado en caja de madera.
- ⊕ T8: Cacao categoría B, sin presecado y fermentado en sacos de yute.

El nivel de significancia de la prueba fue de: $\alpha = 0.05$

Se determinó si los datos cumplían con los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilks. A los que la cumplieron, se les aplicó el análisis de varianza (ANVA) y así determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos hacia la variable respuesta y sus indicadores; si ese era el caso, se procedió a ejecutar la prueba de Tukey a fin de definir entre cuál, o cuales tratamientos existieron las diferencias significativas.

Además, se realizaron análisis utilizando el coeficiente de correlación lineal de Pearson para determinar y cuantificar la correlación entre los indicadores: temperatura, pH, grados Brix, porcentaje de alcohol, y ácido acético.

Se utilizó estadística descriptiva para presentar los resultados, mientras que el procesamiento de datos fue realizado con los Software Estadísticos InfoStat, de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

3.6. Costeo de los tratamientos

Se desarrolló el costeo considerando el uso del fermentador (caja o saco) según el tratamiento, excluyendo costos variables como el cacao y cualquier otro insumo. Además, se elaboró la proyección de uso durante seis meses y un año.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones ambientales de la fermentación

Se registró la temperatura ambiente y humedad relativa dentro del centro de acopio, para conocer las condiciones ambientales en las cuales se desarrolló la investigación (Cuadro 3). Los resultados encontrados fueron que la temperatura varió entre 25.7°C y 33.2°C, y la humedad relativa entre 61.5 y 76.8%.

Cuadro 3. Monitoreo de temperatura y humedad relativa promedio en el centro de acopio de ACPACI de R.L. durante el proceso de fermentación

Día	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)		
	Media	Max.	Min.	Media	Max.	Min.
0	30.3	32.9	26.3	69.4	72.5	66.3
1	30.6	33.1	25.9	69.5	75.9	66.1
2	31.0	33.2	26.3	69.0	76.1	63.0
3	30.6	33.0	25.8	67.9	71.1	65.5
4	30.1	33.0	25.8	67.5	75.3	61.5
5	30.0	32.8	25.7	67.9	70.0	66.5
6	30.2	32.9	25.9	69.2	76.8	63.2
7	30.4	33.0	25.8	72.5	75.8	67.8

Fuente: Elaboración propia

A pesar que, dentro del centro de acopio hay poca entrada de aire por la colocación de plástico en cada una de las paredes, durante el proceso existieron considerables variaciones en ambos parámetros. Siendo estas condiciones desfavorables para la fermentación, ya que, según Bravo y Mingo (2011), al inicio del proceso la temperatura ambiente ejerce un papel importante. Esto es debido a que las fluctuaciones en la temperatura ambiente, perjudican el aumento continuo de temperatura en los granos de cacao; por lo que fue necesaria la utilización de plástico y sacos para cubrir los fermentadores, para contrarrestar este efecto.

4.2. Monitoreo del proceso de fermentación

4.2.1. Medición de temperatura de los granos categoría A

Debido al presecado los granos en ambos fermentadores (T1 y T2), iniciaron el proceso con temperaturas altas (35.3°C y 37.4°C respectivamente), pero en lugar de aumentarla o mantenerla por unos días, ésta fue disminuyendo, hasta llegar a valores por debajo de la temperatura ambiente promedio (Figura 14). Por lo que, el presecado no tuvo un efecto positivo, para el aumento continuo de temperatura en ambos fermentadores en el grano categoría A.

En cambio, los tratamientos sin presecado T3 y T4, iniciaron con temperaturas de 31°C y 30°C respectivamente, aumentando gradualmente durante el periodo de fermentación, alcanzando el punto máximo entre los días 3 y 4 con temperaturas de 36.1°C y 41.0°C correspondientemente. A pesar que, los granos fueron sometidos al mismo método de fermentación, la notable diferencia de temperatura entre ambos tratamientos (T3 y T4), se debió al tipo de fermentador.

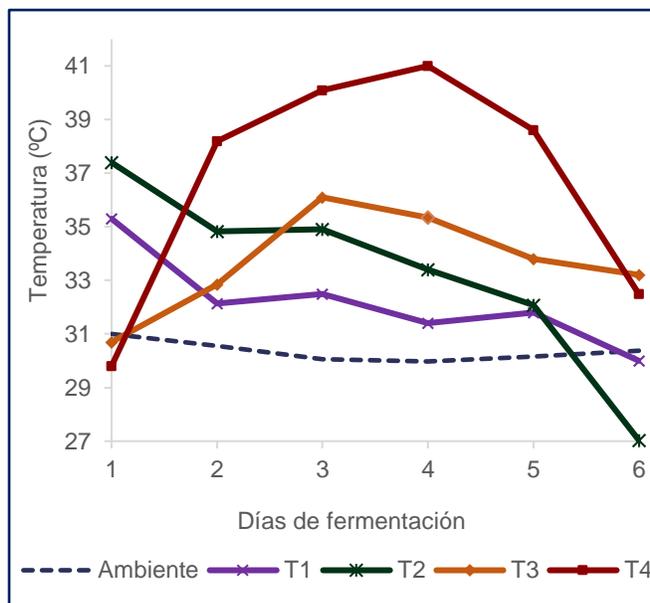


Figura 14. Comportamiento de la temperatura de los granos con mayor cantidad de mucilago (categoría A) durante la fermentación.

Pues en los tratamientos donde se utilizó la caja de madera como fermentador (T1 y T3), se registraron los menores picos de temperatura durante el proceso, que en comparación a los sacos de yute (T2 y T4). Según Bravo y Mingo (2011) los sacos de yute generan mayores temperaturas que las cajas de madera, situación que fue observada en el proceso.

4.2.2. Medición de temperatura de los granos categoría B

Los granos categoría B que recibieron presecado (T5 y T6) comenzaron el proceso, con temperaturas altas (35.5°C y 38.7°C respectivamente) (Figura 15). Sin embargo, al igual que los granos categoría A (T1 y T2), no lograron el aumento gradual de temperatura, sino que disminuyeron luego del presecado. Por su parte los granos que no fueron presecados (T7 y T8) al igual que los granos categoría A (T3 y T4) mostraron un incremento gradual con una temperatura inicial de 29.5°C y 31.0°C respectivamente, alcanzando su valor

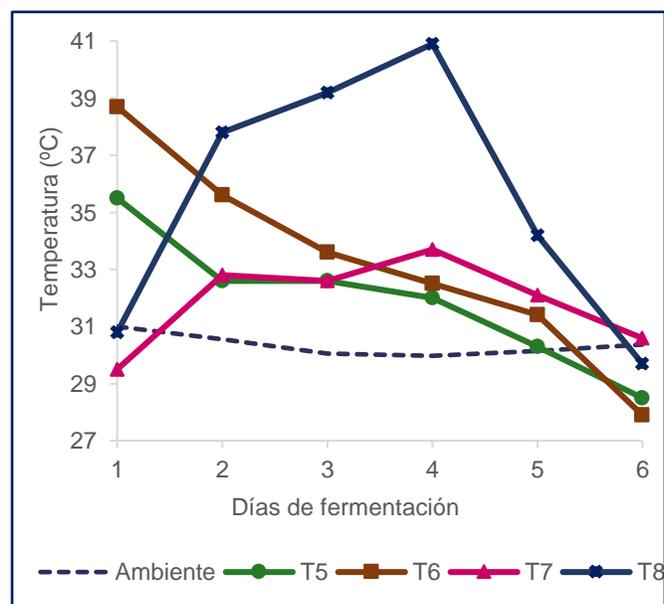


Figura 15. Comportamiento de la temperatura de los granos con menor cantidad de mucilago (categoría B) durante la fermentación

máximo en el día 4 (33.7°C y 40.9°C respectivamente), concordando para los fermentados en sacos de yute (T8) con los resultados de la Sociedad Alemana de Corporación Técnica, citada por Riera (2009), quienes afirman que en el cuarto día se debe alcanzar una temperatura de 40°C.

Nuevamente el tipo de fermentador influyó en el aumento de temperatura de los granos de cacao, ya que en las cajas de madera (T5 y T7), se alcanzaron menores picos de temperatura que en los fermentados en sacos de yute (T6 y T8).

A pesar de ello los ocho tratamientos tuvieron un considerable aumento de temperatura, de forma inducida para los que recibieron presecado y natural para los tratamientos sin presecado. Dicho aumento es muy importante, ya que, «es responsable en parte de la muerte del embrión y del inicio de las reacciones enzimáticas en los tejidos del cotiledón que dan origen a los precursores del sabor y aroma a chocolate» (Braudeau, citado por Graziani et al. 2003).

Sin embargo, ningún tratamiento logró una temperatura promedio de 45°C en su punto máximo tal como menciona Wood, citado por Palacios (2008), debido a que la temperatura generada en la masa de fermentación está relacionada con la temperatura ambiente y micro fauna del lugar (Hardy, citado por Sánchez 2007). No obstante, los granos de categoría A y B fermentados en saco de yute sin presecado (T4 y T8), tuvieron un punto máximo de temperatura de 41.0°C y 40.9°C respectivamente, similar al obtenido por Graziani *et al.* (2003) en un fermentador de caja (41.3 °C), logrando una buena fermentación de los granos.

4.2.3. Cambios en los sólidos solubles totales (°Brix)

Se observó desde el inicio la presencia de sólidos solubles totales en lixiviado, testa y cotiledón (Cuadro 4). Para el lixiviado en todos los tratamientos disminuyó, de un valor máximo de 16% hasta un mínimo de 0% tal como en los granos categoría A, sin presecado, fermentados en sacos de yute (T4). En los granos A y B con presecado y fermentados en sacos de yute (T2 y T6) para el mismo día de fermentación no hay dato, debido a que los sacos son permeables y evitaron el escurrido del líquido. Asimismo, en testa, tienen una considerable disminución durante todo el proceso, ya que son la materia prima utilizada por las levaduras, para iniciar la fermentación anaerobia. Por el contrario, en el cotiledón para los granos categoría A y B hubo un aumento gradual. Sin embargo, los granos que no recibieron presecado (T3, T4, T7 y T8), aumentaron aún más entre los días 3 y 4, concordando con los días de máxima temperatura registrada durante el proceso.

Cuadro 4. Comportamiento de grados Brix durante el proceso de fermentación

Día	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3			Tratamiento 4			Tratamiento 5			Tratamiento 6			Tratamiento 7			Tratamiento 8		
	Cotiledón	Testa	Lixiviado																					
0	1.7	2.6	15.0	1.1	1.8	14.7	1.5	3.7	13.4	2.3	2.6	15.3	1.7	2.7	15.1	1.9	2.4	16.0	1.0	1.7	14.7	1.1	2.0	13.8
1	1.4	2.3	0.7	1.3	0.8	3.6	1.3	3.2	12.5	3.0	1.8	14.9	1.5	1.3	0.9	2.0	1.8	0.7	1.1	1.2	14.0	1.2	1.7	12.0
2	1.9	1.1	0.5	1.4	1.0	1.1	1.5	3.3	6.5	2.7	1.8	8.3	1.8	1.4	0.5	1.5	1.2	0.2	1.2	1.1	6.1	1.8	1.1	8.1
3	1.7	0.5	0.4	1.3	0.8	0.1	1.7	3.1	3.7	3.2	1.8	5.7	1.3	0.6	0.4	1.5	0.6	0.2	1.2	0.6	5.6	2.0	0.9	3.4
4	1.8	0.8	0.3	1.6	0.7	0.1	2.1	3.1	1.8	2.4	1.5	0.7	1.6	0.5	0.5	1.4	0.3	0.2	2.0	0.8	1.5	2.5	1.1	2.0
5	1.9	0.8	0.3	1.2	0.3	0.1	2.6	1.4	1.3	1.8	1.9	0.2	1.6	0.4	0.2	1.3	0.6	0.1	1.6	0.7	1.1	1.8	0.8	0.2
6	2.2	0.6	0.2	1.3	0.3	s/d	2.0	1.7	1.1	1.8	0.8	0.0	1.6	0.3	0.2	1.3	0.4	s/d	2.1	0.8	1.1	1.7	0.4	0.1

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis de varianza para los datos en el último día de fermentación (Cuadro A - 4), dando como significativo ($p \leq 0.05$) el tipo de fermentador, con una media mayor para los fermentados en caja (Cuadro A - 5). A pesar de ello, no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en la combinación de los factores clasificación de grano, método y tipo de fermentador para grados Brix a un nivel de significancia del 5%.

4.2.4. Cambios de pH durante la fermentación

El valor de pH en el lixiviado en todos los tratamientos mostró uniformidad en su comportamiento, pasando de un valor mínimo de 3.4 a un máximo de 6.3 (Cuadro 5), similar al reportado por Jinap, citado por Recalde (2007). Debido a la pérdida de alcoholes y ácidos. Conjuntamente, con el transcurso de los días la cantidad de líquido disminuye considerablemente, siendo aún mayor en los tratamientos que recibieron presecado (T1, T2, T5 y T6). Y total, en los tratamientos con fermentador de saco de yute (T2 y T6).

Cuadro 5. Comportamiento de pH durante el proceso de fermentación

Día	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3			Tratamiento 4			Tratamiento 5			Tratamiento 6			Tratamiento 7			Tratamiento 8		
	Cotiledón	Testa	Lixiviado	Cotiledón	Testa	Lixiviado	Cotiledón	Testa	Lixiviado	Cotiledón	Testa	Lixiviado	Cotiledón	Testa	Lixiviado	Cotiledón	Testa	Lixiviado	Cotiledón	Testa	Lixiviado	Cotiledón	Testa	Lixiviado
0	6.0	4.0	3.7	6.2	4.6	3.7	6.2	4.0	3.8	6.1	4.1	3.7	5.8	4.1	3.9	5.9	4.0	4.1	6.0	4.0	3.2	5.9	3.7	3.4
1	5.9	5.1	4.5	6.0	5.1	4.3	5.7	3.8	3.7	5.9	4.0	3.8	5.9	5.3	5.0	5.9	5.1	5.0	5.8	4.2	3.4	5.8	4.1	3.8
2	5.9	5.2	5.1	6.2	5.2	4.7	5.2	3.9	3.8	5.7	4.2	4.0	5.8	5.7	5.0	6.0	5.4	5.4	5.3	4.3	4.2	5.8	4.3	3.8
3	5.8	5.4	5.2	6.1	5.2	5.5	4.8	4.0	3.9	5.7	4.8	4.3	6.0	5.7	5.5	6.1	6.0	5.8	4.9	4.4	4.4	5.7	5.1	4.2
4	5.9	5.5	5.9	6.2	6.0	5.9	5.5	5.1	4.2	5.6	5.1	4.5	5.9	5.7	5.6	6.3	6.3	6.2	5.5	5.6	4.7	5.7	5.3	5.2
5	5.8	5.7	6.1	6.1	6.0	6.4	5.3	5.0	4.4	5.7	6.3	5.1	6.0	6.1	5.7	6.2	6.1	6.2	5.6	5.5	4.9	5.9	6.2	6.0
6	5.8	5.8	6.1	6.1	6.3	s/d	5.4	5.1	5.0	5.8	6.5	6.3	6.0	6.1	6.1	6.1	6.1	s/d	5.6	5.9	5.2	6.0	6.6	6.0

Fuente: Elaboración propia

Al inicio del proceso los valores de pH en testa de todos los tratamientos se situaron entre 3.7 y 4.6. En cambio, en los cotiledones fueron entre 5.8 a 6.2. Evidenciando las diferencias entre ambos, y comprobando lo descrito por Hernández, citado por Sánchez (2007), quien menciona que el pH inicial de los cotiledones es de 6.6 y el de la testa varía de 3.4 a 4.6, esto debido principalmente al contenido de ácido cítrico en el mucílago y que según Jiménez (2000), son afectados por el tipo de microflora presente durante la fermentación.

El pH en la testa pasa de ácido (3.7 – 4.6) a levemente ácido (5.1 – 6.5) en todos los tratamientos, según Caballero *et al.* (2014), este fenómeno favorece inicialmente el desarrollo de las levaduras y posteriormente al de las bacterias lácticas y acéticas. Según García (2000), esto se debe a los procesos de degradación del ácido cítrico. Y debido también, a que gran parte de los ácidos (acético y láctico) formados durante la fase aerobia migran de la testa hacia el cotiledón, causando un descenso en su pH. Verificando este hecho en el día con el valor de pH más bajo en cotiledón y más alto de temperatura que según Bravo y Mingo (2011), es cuando se alcanza «la fermentación total».

Para el último día el pH varió entre 5.4 a 6.1 en los tratamientos, según Armijos (2002), «el pH para los granos bien fermentados debe ser de 5.1 a 5.7, cuando este es menor a 5.0 indica presencia de ácidos no volátiles indeseables que dan al chocolate aromas desagradables». Y cuando tiene un valor alto (7.0) indica sobrefermentación (Graziani *et al.* 2003). Por su parte, Ramos (2017), afirma que el proceso de fermentación concluye cuando el pH de testa es igual al pH de cotiledón, siendo verificado únicamente en los granos categoría A presecados y fermentados en caja (T1) y en los granos categoría B presecados y fermentados en sacos (T6).

Al evaluar los datos del último día con un análisis de varianza (Cuadro A - 6), se determinó que los granos categoría B (en ambos métodos de fermentación y uso de fermentadores) produjeron un pH más alto (Cuadro A - 7), así como realizar el presecado (en ambas calidades de grano y fermentadores) (Cuadro A - 8) y fermentar en sacos (en ambas calidades de grano y métodos de fermentación) (Cuadro A - 9).

Pese a esto, estadísticamente no existen diferencias significativas (p -valor >0.05) en el pH de los tratamientos a un nivel de significancia del 5%, por lo que es indiferente la combinación de calidad de grano, método y tipo de fermentador utilizado para obtener valores óptimos al final del proceso. No obstante, aplicar el presecado impide durante el proceso lograr la fermentación total, afectando el comportamiento normal del pH en los granos de cacao.

4.2.5. Variación de los Grados de alcohol en la fermentación

Desde el día 0 inicia la fermentación anaerobia, generando en el lixiviado el valor más alto de alcohol etílico que se registra durante todo el proceso (14.4° – 16.8°) (Cuadro 6), debido al escurrimiento del mucílago, ya que es en ese líquido donde se concentran las mayores cantidades de azúcares, ácidos y alcoholes del grano.

Cuadro 6. Medición de grados de alcohol durante el proceso de fermentación

Día	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3			Tratamiento 4			Tratamiento 5			Tratamiento 6			Tratamiento 7			Tratamiento 8		
	Cotiledón	Testa	Lixiviado																					
0	1.9	2.4	16.0	1.2	2.6	16.8	1.6	2.0	13.6	1.6	2.1	16.2	1.3	2.1	15.2	0.9	2.4	15.6	1.2	2.3	14.5	1.4	2.1	14.4
1	1.5	1.2	0.7	1.7	1.6	0.5	1.5	1.4	12.3	2.1	1.9	13.0	2.0	1.0	2.9	1.8	1.4	0.9	1.1	1.5	10.4	1.6	1.9	12.3
2	2.1	1.0	0.5	1.9	1.8	0.4	1.5	1.1	6.6	2.2	0.9	5.8	1.9	0.9	0.8	1.8	0.7	0.3	1.3	1.2	5.5	1.9	1.4	8.2
3	2.0	0.8	0.5	1.6	1.7	0.2	2.3	1.1	3.5	2.7	1.1	2.9	1.6	0.8	0.6	1.6	0.7	0.2	1.4	0.8	2.7	2.2	1.3	2.5
4	2.2	0.9	0.4	1.7	0.9	0.2	2.3	1.1	2.7	2.8	1.0	0.7	1.6	0.7	0.4	1.4	0.5	0.1	1.6	0.9	1.3	3.0	1.3	0.3
5	2.0	1.0	0.3	1.3	0.6	0.2	2.5	1.2	1.9	2.1	1.4	0.2	1.5	0.5	0.2	1.4	0.6	0.1	1.9	1.5	1.1	2.0	1.4	0.1
6	2.2	0.7	0.3	1.4	0.7	s/d	2.1	1.7	1.2	1.8	1.0	0.1	1.8	0.6	0.1	1.4	0.5	s/d	2.1	1.0	1.2	1.7	0.9	0.0

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de los valores altos en lixiviado, en la testa no superan los 3 grados debido al constante escurrimiento que ocurre desde el inicio del proceso, a la fermentación acética y por la penetración del alcohol hacia el cotiledón. Es por ello que conforme avanzan los días, los grados de alcohol van disminuyendo en la testa y aumentando en el cotiledón, siendo esta relación inversa más fuerte para los granos con menor cantidad de mucílago (categoría B) con un coeficiente de correlación de Pearson: $r = -0.54, -0.71, -0.39, -0.45$ para T5, T6, T7, T8. Y menor para los granos con mayor cantidad de mucílago (categoría A) con un $r = -0.28, -0.18, -0.38, -0.56$ para T1, T2, T3, y T4 respectivamente.

Con el fin de determinar si existe diferencia al finalizar la fermentación en el grado de alcohol entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (Cuadro A - 10) dando como significativo ($p \leq 0.05$) únicamente el tipo de fermentador, con una media menor para los granos fermentados en saco (Cuadro A - 11). Sin embargo, al evaluar la combinación de calidad de grano, método de fermentación y tipo de fermentador, estadísticamente no existen diferencias significativas ($p\text{-valor} > 0.05$) en los grados de alcohol a un nivel de significancia del 5%.

4.2.6. Evolución de la acidez en la fermentación

Desde la quiebra de las mazorcas (día 0), se evidenció la presencia de ácidos en lixiviado, testa y cotiledón (Cuadro 7). Tal como menciona Garcia (2000), «Existen significativas diferencias en el mucílago y cotiledón antes del proceso de fermentación, esto se debe principalmente al contenido de ácido cítrico».

Cuadro 7. Evolución de la acidez durante el proceso de fermentación

Día	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3			Tratamiento 4			Tratamiento 5			Tratamiento 6			Tratamiento 7			Tratamiento 8		
	Cotiledón	Testa	Lixiviado																					
0	0.9	0.9	4.7	0.9	1.6	3.6	1.0	2.9	4.7	0.9	2.3	6.7	0.9	1.3	5.2	1.0	2.4	3.8	1.1	3.1	9.3	1.2	2.4	7.4
1	2.0	1.4	1.2	1.6	1.6	1.1	1.4	2.7	5.3	1.1	1.5	7.8	1.4	1.4	1.0	2.0	1.5	0.5	1.2	2.8	7.0	1.0	2.2	6.5
2	2.3	0.9	0.8	1.7	1.4	0.7	1.3	1.9	6.7	2.5	1.7	5.2	1.5	1.1	0.7	3.0	1.9	0.3	1.6	2.3	4.1	2.1	1.2	4.1
3	2.6	1.3	0.9	2.8	2.0	0.6	1.4	1.2	5.6	2.4	1.5	2.5	1.5	1.4	0.7	2.6	1.1	0.3	1.3	1.3	2.4	2.4	2.5	2.7
4	1.9	1.2	1.1	2.1	1.2	0.3	3.0	1.4	5.6	2.9	2.4	2.6	1.9	1.1	0.7	2.4	0.9	0.1	1.9	1.1	1.9	4.6	2.1	1.0
5	3.3	1.2	0.6	1.2	0.8	0.2	3.3	2.3	3.2	4.2	1.5	0.7	1.5	0.8	0.3	2.3	1.0	0.1	2.2	1.2	1.9	3.1	2.0	0.5
6	3.7	1.3	0.6	1.7	0.8	s/d	3.5	2.7	3.3	3.9	1.8	0.2	2.3	1.0	0.2	1.4	1.1	s/d	2.1	1.1	2.0	3.5	2.2	0.5

Fuente: Elaboración propia.

La acidez al igual que en los grados de alcohol tiene un mayor valor en el lixiviado, debido al escurrimiento de los líquidos en el mucílago. Pero, a medida transcurren los días este se reduce hasta valores cercanos a 0.2. Por el contrario, en la testa los valores de acidez aumentan ya que, según Braudeau, citado por Enríquez (1985) las bacterias acéticas transforman por oxidación el alcohol etílico en ácido acético, el cual penetra en el cotiledón. Generando un aumento continuo hasta el final del proceso.

Se realizó un análisis de varianza en el último día (Cuadro A - 12) para evaluar si existen diferencias significativas en el uso de los tratamientos; sin embargo, sólo la clasificación del grano, método de fermentación y la interacción entre método de fermentación y tipo de fermentador fueron significativas ($p \leq 0.05$), con medias menores para categoría B (Cuadro A - 13), con presecado (Cuadro A - 14) y con presecado fermentado en saco (Cuadro A - 15) respectivamente. En contraste, al evaluar la combinación de calidad de grano, método de fermentación y tipo de fermentador, estadísticamente no existen diferencias significativas (p -valor >0.05) en la acidez del grano a un nivel de significancia del 5%.

4.3. Comportamiento de la fermentación en los granos categoría A

4.3.1. Granos sometidos al presecado

El comportamiento de la fermentación en la etapa anaerobia para los granos categoría A, fermentados en cajas de madera (T1) (Figura 16) y fermentados en sacos de yute (T2) (Figura 17), fue limitada debido al presecado, causando una baja transformación de los azúcares en alcohol con una relación directa entre ambos parámetros ($r=0.85$ y $r=0.95$ para T1 y T2 respectivamente).

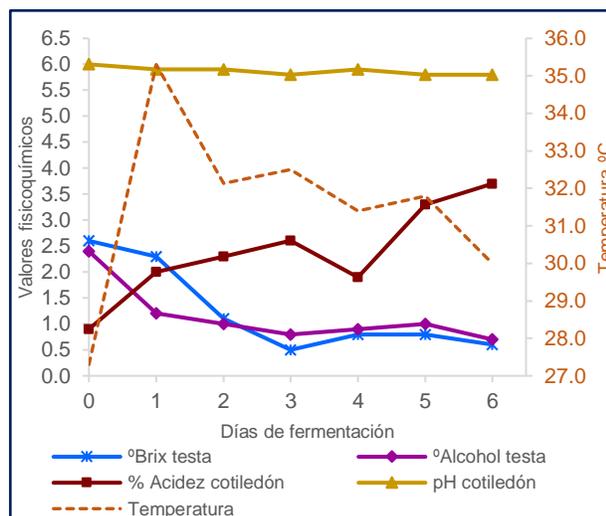


Figura 16. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, presecados y fermentados en caja de madera (T1)

En contraste, en la etapa aerobia la fermentación aumentó luego del primer volteo (día 2) en ambos tratamientos, ya que según Braudeau, citado por Enríquez (1985) las bacterias acéticas transforman por oxidación el alcohol etílico en ácido acético, el cual penetra en el cotiledón por lo que, existe una relación inversamente proporcional entre el alcohol de la testa y el ácido en el cotiledón, siendo ésta mayor para los granos fermentados en cajas de madera ($r=-0.80$) y menor para los fermentados en sacos ($r=-0.15$). La reacción planteada por Braudeau, citado

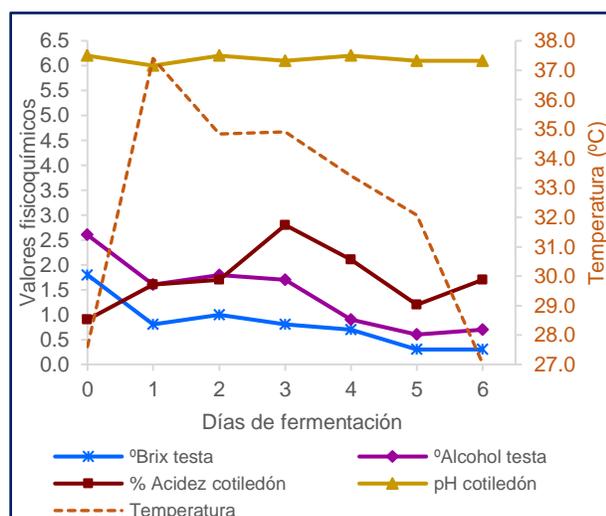


Figura 17. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, presecados y fermentados en saco de yute (T2)

por Enríquez (1985) es exotérmica, causando una elevación en la temperatura de la masa de fermentación con una correlación directa entre temperatura y acidez, débil ($r=0.25$) para los granos fermentados en caja de madera y moderada ($r=0.44$) para los fermentados en saco de yute. Logrando de manera inducida en este último, la fermentación total descrita por Bravo y Mingo (2011). Ya que luego de aplicar el presecado (día 1) se registró la temperatura más alta, y pH más bajo, con una baja correlación ($r=-0.37$) entre ambos parámetros.

A pesar que en los granos fermentados en caja de madera (T1) la correlación fue inversa con $r=-0.36$, no logró dicho aumento de temperatura y disminución de pH en el mismo día. Por lo que el tipo de fermentador utilizado para los granos presecados influyó en la fermentación.

4.3.2. Granos sin proceso de presecado

La fermentación alcohólica generada en la testa de los granos categoría A, sin presecado, fermentados en caja de madera (T3) (Figura 18), y fermentados en sacos de yute (T4) (Figura 19), fue baja, al igual que en los tratamientos con presecado. Con una correlación directa entre grados Brix y grados de alcohol con $r=0.08$ y $r=0.42$ para T3 y T4 respectivamente.

En cambio, la fermentación acética aumento luego del primer volteo (día 2), validándose con la correlación inversa existente entre grados de alcohol y porcentaje de acidez con valores de $r=-0.12$ para T3 y $r=-0.69$ para T4. Así como, con el aumento de la temperatura y acidez en el cotiledón con $r=0.46$ y $r=0.59$ para T3 y T4 correspondientemente.

Alcanzando además, la máxima temperatura y menor pH, en el día 3 para los fermentados en cajas de madera (T3) y en el día 4 para los fermentados en sacos de yute (T4), corroborando con la alta correlación inversa entre ambos parámetros con valores de $r=-0.88$ para T3 y $r=-0.95$ para T4.

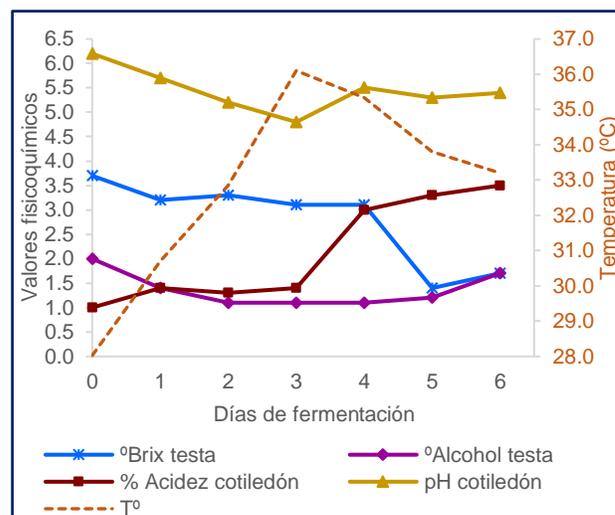


Figura 18. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, sin presecado y fermentados en caja de madera (T3)

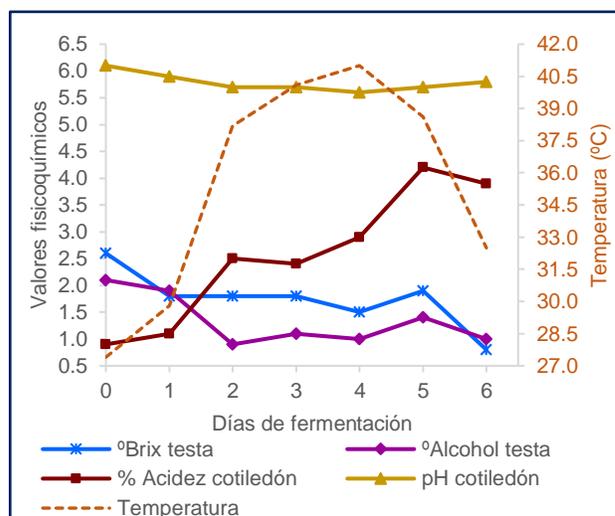


Figura 19. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría A, sin presecado y fermentados en saco de yute (T4)

4.4. Comportamiento de la fermentación en los granos categoría B

4.4.1. Granos sometidos al presecado

El proceso de fermentación en la etapa anaerobia para los granos categoría B, fermentados en cajas de madera (T5) (Figura 20), y en sacos de yute (T6) (Figura 21), al igual que en los tratamientos categoría A (T1 y T2), fue afectado por el presecado. Por lo que, no se percibió el incremento de grados alcohol y disminución de grados Brix, siendo la correlación entre ambos factores directamente proporcional con $r=0.96$ y $r=0.99$ para T5 y T6 respectivamente.

Por su parte, la fermentación en la etapa aerobia inició desde el día 1, mermando la cantidad de alcohol formado en testa, verificándose con una correlación inversa entre los grados de alcohol y el porcentaje de acidez con $r=-0.78$ y $r=-0.65$ para T5 y T6 respectivamente. Consiguiendo, además, para los granos fermentados en saco de yute (T6), la relación directa entre la temperatura y la acidez ($r=-0.69$), la cual fue inducida debido al presecado aplicado. Obteniendo en ese día el valor más alto en temperatura y más bajo de pH, con una correlación inversa entre ambos ($r=-0.16$).

En cambio, para los granos fermentados en caja de madera (T5) no existió una correlación entre el pH más bajo y la temperatura más alta. Por lo que el tipo de fermentador influye en el proceso de fermentación para los granos categoría B que recibieron presecado.

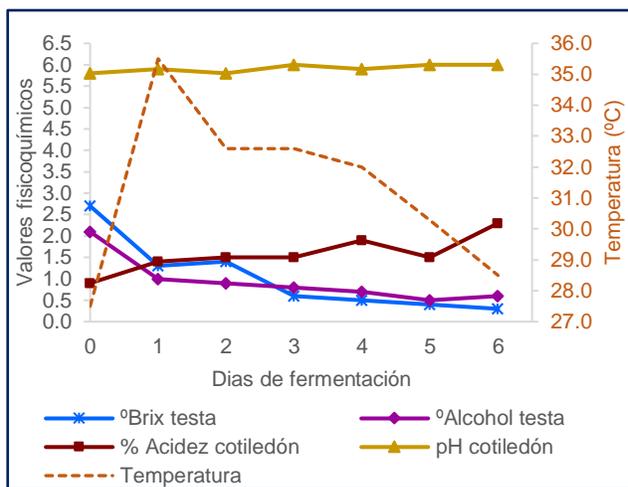


Figura 20. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, presecados y fermentados en caja de madera (T5)

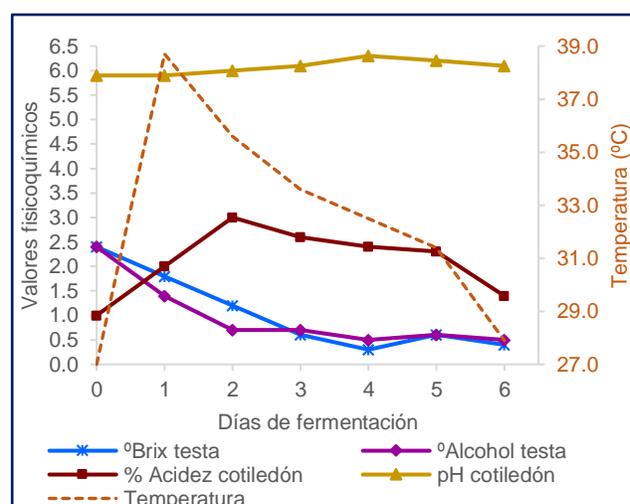


Figura 21. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, presecados y fermentados en saco de yute (T6)

4.4.2. Granos sin proceso de presecado

El comportamiento de la fermentación alcohólica para los granos categoría B, sin presecado, fermentados en caja de madera (T7) (Figura 22) y fermentados en saco de yute (T8) (Figura 23) mostró una tendencia similar a la de los demás tratamientos, con una débil transformación de los azúcares en alcohol, con una correlación directamente proporcional con $r=0.86$ y $r=0.97$ para T7 y T8 respectivamente.

Por el contrario, la fermentación acética se desarrolló desde el primer volteo (día 2), con una relación inversa entre el alcohol generado en testa y el ácido penetrado dentro del cotiledón con una correlación $r=-0.44$ en los fermentados en caja (T7) y $r=-0.78$ en los fermentados en saco (T8). Evidenciando que esta fermentación es exotérmica con una correlación positiva entre la acidez del cotiledón y la temperatura de los granos con valores de $r=0.55$ y $r=0.53$ para T7 y T8 respectivamente. Alcanzando para los granos fermentados en saco de yute (T8) en el día 4, el máximo de temperatura promedio (40.9°C) y pH mínimo en el cotiledón (5.9), creando

una fuerte correlación inversa ($r=-0.80$) durante todo el proceso. En cambio, en los granos fermentados en caja (T7) a pesar de la fuerte correlación ($r=-0.75$) entre temperatura y pH del grano, no logró la fermentación total, ya que no se alcanzó el máximo valor de temperatura y mínimo de pH en un día determinado. Es por ello que, el tipo de fermentador para los granos categoría B, sin presecado afecta directamente el proceso de fermentación.

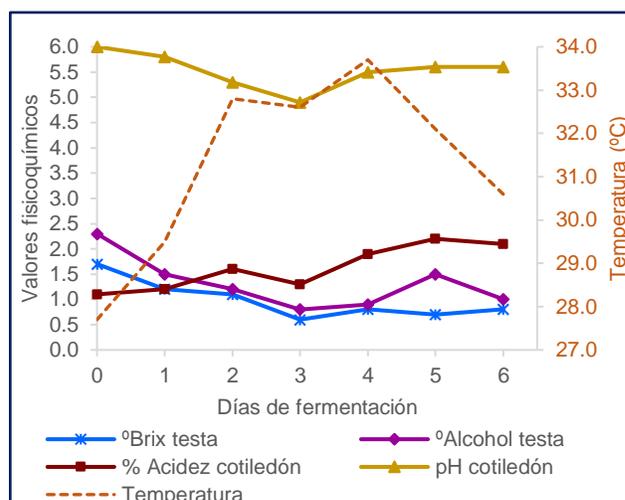


Figura 22. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, sin presecado y fermentados en caja de madera (T7)

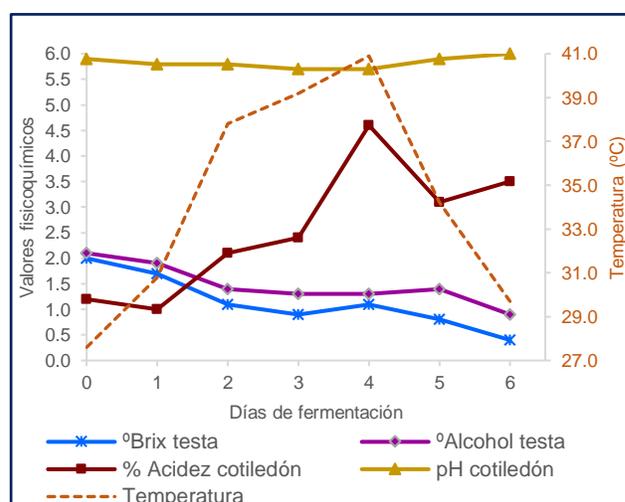


Figura 23. Comportamiento de la fermentación para los granos categoría B, sin presecado y fermentados en saco de yute (T8)

4.4.3. Estado del grano

4.4.3.1. Color interno del grano

Se evidenció la afirmación de Bravo y Mingo (2011), «El color de los cotiledones varía de morado claro a rojizo - marrón para los granos bien fermentados». Observando el cambio interno de color morado claro a rojizo para los granos categoría A y B, fermentados en cajas y sacos (T3, T4, T6, T7 y T8), Siendo mayor para los granos fermentados con sacos de yute (T4, T6 y T8) (Cuadro A - 16). Así como el cambio de color morado a marrón para los granos que recibieron presecado (T1, T2, y T5), en el último día de fermentación (Figura 24).

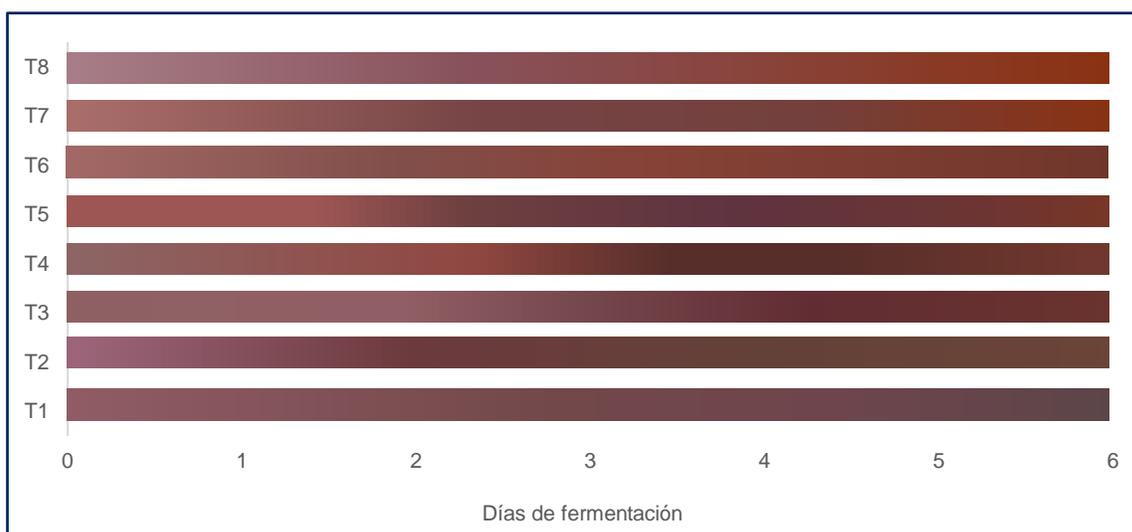


Figura 24. Comportamiento de color interno del grano durante el proceso de fermentación

4.4.3.2. Mortalidad del embrión

Para los granos categoría A y B, fermentados en cajas y sacos (T1, T2, T5 y T6), el presecado provocó la muerte de los embriones desde el día 1 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Mortalidad de embriones en los granos de cacao

Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	10	10	10	10	10	10	10	10
1	8	7	10	10	7	5	10	10
2	6	3	10	10	4	3	10	10
3	4	3	6	5	4	2	8	7
4	3	3	5	4	2	2	7	5
5	2	2	4	2	2	2	6	5
6	2	2	1	1	1	2	4	3

Fuente: Elaboración propia.

En cambio, para los granos de ambas categorías sin presecado (T3, T4, T7 y T8) la muerte del embrión inició a partir del día 3. A pesar de esta diferencia, los granos categoría A sin presecado, fermentados en caja (T3) y en saco (T4), obtuvieron la mayor cantidad de embriones muertos. Por el contrario, los granos categoría B con igual fermentador y método de fermentación (T7 y T8), resultaron con la menor cantidad de embriones muertos.

4.4.3.3. Presencia de líquido y fisuramiento interno

En los granos categoría A y B sometidos al presecado (T1, T2, T5 y T6) la cantidad de líquido desprendido (Cuadro 9) y fisuras internas (Cuadro 10) son bajas, debido a la exposición directa al sol. Ya que el mucílago en la testa disminuye drásticamente, perdiendo humedad, compactando internamente al grano, limitando las condiciones normales del proceso de fermentación. Lo que conlleva, a la poca penetración de los ácidos dentro del cotiledón.

Cuadro 9. Estimación del contenido de líquido dentro de los granos de cacao durante la fermentación

Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.3	0.0	0.0	0.3	0.7	0.3	0.0	0.3
3	0.7	0.0	2.0	1.7	0.7	0.3	1.0	2.7
4	0.8	0.0	2.7	3.7	0.7	1.0	2.0	3.3
5	1.2	0.0	3.3	3.7	0.7	1.2	3.3	4.0
6	1.2	0.0	3.7	4.0	0.7	1.2	3.7	4.0

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10. Valoración de las fisuras internas en los granos de cacao interno durante la fermentación

Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
1	2.5	1.3	2.0	2.0	2.3	2.3	2.0	2.0
2	2.8	1.7	2.0	2.3	3.0	2.3	2.0	2.0
3	2.8	2.0	2.7	3.0	3.0	2.7	2.7	3.0
4	3.1	2.0	3.7	4.3	3.3	3.0	3.3	3.0
5	3.1	2.0	3.7	4.0	3.0	3.0	3.5	3.8
6	3.1	2.3	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0

Fuente: Elaboración propia.

Al contrario, los granos de ambas categorías y fermentadores, que no recibieron el presecado (T3, T4, T7 y T8), generaron mayor cantidad y profundidad en las fisuras, así como, en la cantidad de líquido desprendido. Siendo superiores para los fermentados en sacos de yute (T4 y T8). Por lo que, fermentar con sacos de yute, sin presecado, genera un mayor fraccionamiento y líquido interno en ambas categorías de grano (Figuras A - 5 y A - 6).

4.5. Secado

Se midió el pH, de los sólidos solubles totales (grados Brix), grados de alcohol y porcentaje de acidez del grano luego del secado, en el cotiledón y testa de cada tratamiento (Cuadro 11). Obteniendo un descenso en acidez, alcohol y °Brix y un aumento en el pH, confirmando la aseveración de Wood, citado por Sánchez (2007) quien menciona que «el contenido de agua, la acidez, la astringencia del grano disminuye y el pH aumenta».

Cuadro 11. Parámetros físico químicos después del secado para cotiledón y testa

Tratamiento	Humedad (%)	pH		Grados Brix		Grados de Alcohol		Acidez (%)	
		Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa
1	6.8	5.9	6.1	1.2	0.6	1.2	0.9	1.4	1.1
2	6.9	6.3	6.3	1.2	0.4	1.2	0.5	1.4	0.7
3	7.1	5.7	5.9	2.3	1.3	1.8	1.2	1.8	1.7
4	7.0	6.1	6.3	0.8	0.7	1.0	0.7	1.1	1.6
5	6.9	6.1	6.2	1.0	0.7	1.0	0.6	1.3	0.8
6	6.7	6.2	6.2	1.1	0.5	1.2	0.5	1.2	0.6
7	7.0	6.1	6.2	1.5	0.6	1.3	0.7	1.5	1.0
8	7.0	6.0	6.4	1.1	0.6	1.3	0.7	1.4	0.9

Fuente: Elaboración propia.

En el cotiledón el pH fluctuó entre 5.7 a 6.3 (Figura 25). Siendo estos valores mucho mayores a los reportados por Enríquez (1985), quien indica que, «el pH sube en forma lenta llegando hasta 5.4». Al evaluar dicho parámetro con un análisis de varianza (Cuadro A - 17), no se detectaron diferencias significativas ($p\text{-valor} > 0.05$), en la combinación de los tres factores (Tratamientos). Pero si se constataron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el factor: método de fermentación, obteniendo un pH más alto con la aplicación presecado (Cuadro A - 18), así como en el factor: tipo de fermentador, siendo los sacos de yute los que permiten un mayor pH (Cuadro A - 19). Además de la interacción clasificación del grano – tipo de fermentador, en donde, para ambas categorías de grano, con el uso de sacos de yute durante la fermentación, se generan los niveles más altos de pH (Cuadro A - 20).

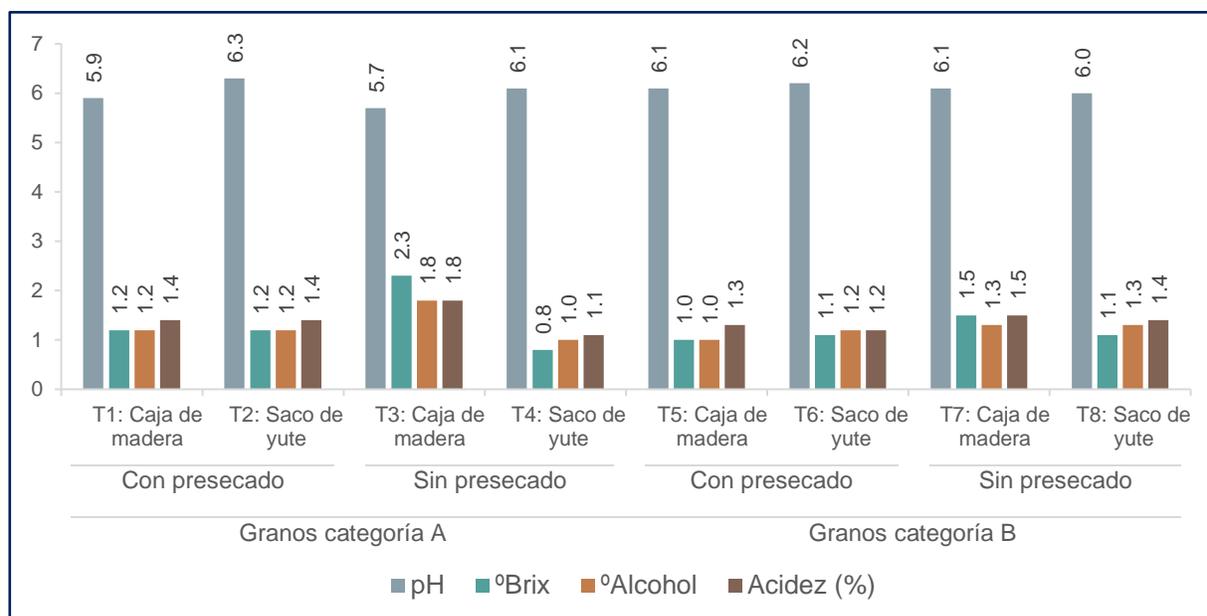


Figura 25. Parámetros físico químicos después del secado en los cotiledones

Con el secado se evidenció la disminución de los sólidos solubles totales en todos los tratamientos. Al realizar el análisis de varianza (Cuadro A – 21), no se detectaron diferencias significativas (p -valor >0.05) entre ellos. No obstante, los granos fermentados en sacos de yute obtuvieron el menor valor en sus medias, siendo significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) a las de las cajas (Cuadro A - 22). Así también, fueron significativas ($p \leq 0.05$) las interacciones entre método de fermentación y tipo de fermentador (Cuadro A - 23), siendo la combinación de fermentar en caja de madera, sin presecado y en saco con presecado, las que mantienen un mayor nivel de grados Brix al finalizar el secado.

Así mismo, en todos los tratamientos, los grados de alcohol y acidez tuvieron una reducción con el secado, llegando a valores de 1.0 a 1.3 para los grados de alcohol, y de 1.1 a 1.4% para la acidez en el cotiledón. Estos últimos siendo concordantes a los de Armijos (2002), quien afirma que, «el contenido de ácidos orgánicos compuestos que aportan a la acidez del perfil sensorial del cacao, varía entre el 1.2% y 1.6%». Al realizar los análisis de varianza se determinó que no existen diferencias significativas (p -valor >0.05), a un nivel de 5% para alcohol (Cuadro A - 24) y acidez (Cuadro A - 25), con el uso de cualquiera de los tratamientos.

4.6. Análisis bromatológico

Se analizó el contenido de grasa proteína y ceniza antes del proceso de fermentación (grano fresco) y después del proceso de secado (Figuras 26 y A - 7), no constituyéndose en el campo un dato que puede ser valorado, sin embargo, se cuantifica con la finalidad de establecer un

criterio que permita generalizar en parte la aceptación del producto generado en la zona de trabajo y que sea de interés para la industria cacaotera.

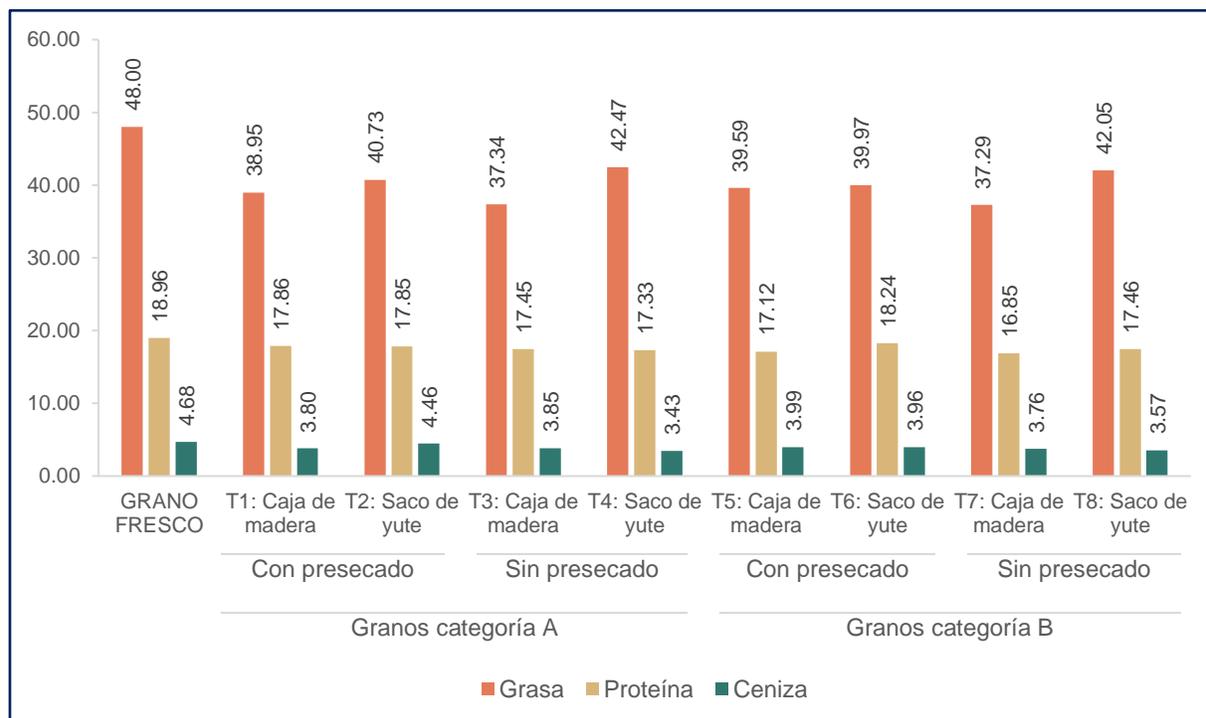


Figura 26. Análisis bromatológico de los granos de cacao

El porcentaje de grasa en el grano fresco (48.0%), es levemente menor al obtenido por Wakao, citado por Palacios (2008), (54.0%). Según Bravo y Mingo (2011), este parámetro está relacionado a factores como: calidad de suelo, genotipo (variedad) y clima (microclima). Luego de los procesos de fermentación y secado estos valores se redujeron entre 5 y 11%. Efecto verificado por Asep *et al.* (2008), determinando que el rendimiento de la manteca de cacao extraída de granos no fermentados es mayor que la de los granos con fermentación completa. Siendo esta reducción mayor para los granos categoría A y B, sin presecado, fermentados en caja de madera (T3 y T7). Y menor para los granos categoría A y B, sin presecado, fermentados en sacos de yute (T4 y T8). No obstante, al realizar el análisis de varianza no existió diferencia significativa entre los tratamientos (p -valor >0.05) a un nivel de 5% (Cuadro A - 26), por lo que estadísticamente con cualquiera de los tratamientos se obtendrá un porcentaje de grasa similar.

En cambio, el porcentaje de proteína (18.96%) y ceniza (4.68%) es superior al registrado por Wakao, citado por Palacios (2008), 11.5% y 2.60% respectivamente; los cuales luego de la fermentación y secado sufren una leve disminución y al ser comparado con los valores reportados por De la Cruz *et al.* (2012) estos siguen siendo superiores (Cuadro A - 3). A dichos

valores se les realizó un análisis de varianza, siendo no significativos (p -valor >0.05) para el porcentaje de proteína por lo que es indiferente la clasificación del grano, método y tipo de fermentador utilizado para obtener buenos resultados (Cuadro A - 27). Igualmente, el análisis de varianza en el porcentaje de ceniza fue no significativo (p -valor >0.05) para los tratamientos (Cuadro A - 28). Sin embargo, existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el método de fermentación, ya que la aplicación del presecado presentó una media más alta (Cuadro A - 29). Así también, es significativa ($p \leq 0.05$) la interacción entre el método de fermentación – tipo de fermentador, siendo las combinaciones con presecado en ambos fermentadores, y no presecado, fermentado en caja de madera las que dan una media mayor en el porcentaje de ceniza, con mejores resultados en el método con presecado y fermentado en saco de yute (Cuadro A - 30).

4.7. Determinación del grado de fermentación y calidad del grano

4.7.1. Prueba de agua

Esta prueba supone que los granos que flotan se encuentran fermentados y los que van al fondo tuvieron una mala o nula fermentación. Además, se basa en el principio de desplazamiento de un fluido por la presencia de un sólido (principio de Arquímedes). Al aplicarla, la mayoría de tratamientos obtuvieron porcentajes de fermentación por arriba del estándar (70%), únicamente los granos sin presecado y fermentados en caja de madera (T3) mostraron un bajo nivel de fermentación (Cuadro 12).

Cuadro 12. Prueba de agua para los granos fermentados y secos

Tratamiento	Bien fermentados (%)	Mal fermentados (%)
T1	85	15
T2	91	9
T3	35	65
T4	85	15
T5	95	5
T6	97	3
T7	71	29
T8	97	3

Fuente: Elaboración propia

A pesar de ello, al evaluar con un análisis de varianza los granos bien fermentados (Cuadro A - 31) y mal fermentados (Cuadro A - 36), se determinó que no existen diferencias significativas (p -valor > 0.05) con un nivel del 5% entre los tratamientos. No obstante, se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en el factor categoría de grano, siendo los granos categoría

Los que presentan una media mayor de granos bien fermentados (Cuadro A - 32), por lo que, los granos categoría A muestran una media mayor para los granos mal fermentados (Cuadro A - 37). Así también, existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el método de fermentación, dando mejores resultados el uso de presecado (Cuadro A - 33) y no presecar da medias más altas en el grano mal fermentado (Cuadro A - 38). De igual forma, se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en el tipo de fermentador, siendo el saco de yute el que contribuye a una mejor fermentación (Cuadro A - 34). Por lo que las cajas de madera tienen medias más altas en los granos mal fermentados, debido al poco aumento de temperatura durante el proceso (Cuadro A - 39). Finalmente existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la combinación del tipo de fermentador y método de fermentación, con un mayor porcentaje de granos bien fermentación para los métodos con presecado fermentados en cajas y sacos, al igual que para los sin presecado, fermentados con sacos de yute (Cuadro A - 35). En cambio, la combinación de caja, sin presecado es la forma de fermentación con mayor porcentaje de granos mal fermentados (Cuadro A - 40).

No obstante, según Bravo y Mingo (2011) la prueba de agua da criterios poco cercanos a la realidad ya que durante el proceso de fermentación todos los granos deben fraccionarse internamente y aumentar de volumen siendo difícil debido al espesor de la testa. Dando resultados diferentes con la prueba de corte la cual se considera más concluyente.

4.7.2. Prueba de corte

Los granos de cacao categoría A y B con mayor porcentaje de buena fermentación y menor de levemente fermentado fueron los que no recibieron presecado y fermentados en saco de yute (T4 y T8) con 76.3 y 78.7% respectivamente, así como los granos categoría B, sin presecado, fermentados en caja de madera (T7) con 77% (Cuadro 13). Sin embargo, los análisis de varianza no detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en ambas variables con un nivel de significancia del 5% (Cuadros A - 41 y A - 42).

El menor porcentaje de granos violeta se registró en los tratamientos con categoría B, siendo los granos fermentados con caja de madera y sin presecado (T7), los que obtuvieron los mejores resultados. En cambio, para los granos categoría A, el tratamiento sin presecado y fermentado con sacos de yute (T4), fue el que tuvo un menor porcentaje. Pese a esto, al evaluarlos mediante un análisis de varianza, no se observaron diferencias significativas (p -valor > 0.05) a un nivel del 5% (Cuadro A - 43).

Cuadro 13. Evaluación de los parámetros físicos de calidad de los granos de cacao fermentados en dos tipos de fermentadores y dos métodos de fermentación.

Factores		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Cantidad de granos en 100g		84	79	84	89	89	89	92	91
Humedad (%)		6.8	6.9	7.1	7.0	6.9	6.7	7.0	7.0
Fermentación (%)	Buena	54.7	53.7	52.3	61.0	54.3	48.0	60.0	67.0
	Leve	16.3	21.0	18.7	15.3	21.0	18.7	17.0	11.7
	Total	71.0	74.7	71.0	76.3	75.3	66.7	77.0	78.7
Defectos (%)	Violeta	25.7	22.7	23.3	22.3	21.0	22.7	19.3	20.0
	Pizarroso	3.3	2.7	5.3	0.7	3.7	9.3	2.0	1.0
	Con presencia de moho	0.0	0.0	0.3	0.7	0.0	1.3	1.7	0.3
	Total	29.0	25.3	29.0	23.7	24.7	33.3	23.0	21.3

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al porcentaje de granos pizarrosos, los mejores resultados se obtuvieron en los granos categoría A y B, sin presecado y fermentados en sacos de yute (T4 y T8). Con el análisis de varianza (Cuadro A - 44), se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el método de fermentación, por lo que no realizar el presecado contribuye a un porcentaje menor de este defecto (Cuadro A - 45). Así también, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el método de fermentación y clasificación del grano, debido a esto al aplicar el presecado en los granos categoría B se obtiene una mayor cantidad de estos defectos (Cuadro A - 46). Igualmente, en la interacción clasificación de grano con tipo de fermentador, se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), donde los granos categoría B, con ambos fermentadores y los granos categoría A, fermentados en caja generaron una mayor cantidad de granos pizarrosos, (Cuadro A - 47). De igual forma, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en la interacción método de fermentación - tipo de fermentador (Cuadro A - 48), en donde el método sin presecado fermentado en saco tiene el menor porcentaje de grano pizarroso. No obstante, al realizar la interacción principal (tratamientos), no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) a un nivel del 5%. A pesar que no fue sensible estadísticamente, los granos categoría B, con presecado y fermentados en saco de yute (T6), tienen la mayor cantidad de granos pizarrosos, comparados con el resto de tratamientos.

Al evaluar la presencia de moho, tienen ausencia de este defecto los tratamientos de grano categoría A que recibieron presecado (T1 y T2), así como los granos categoría B fermentados en caja (T5). Pese a esto, al realizar el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas (p -valor > 0.05) entre los tratamientos con un nivel del 5% (Cuadro A - 49).

Al comparar los resultados de la prueba de corte con la clasificación planteada por INTECO (2009) en la norma INTE 23-02-04-09 (Cuadro A - 50), a pesar que todos los tratamientos cumplen con el peso y humedad requerida, únicamente los granos categoría A y B, sin presecado, fermentados en sacos de yute (T4 y T8), se catalogaron como granos fermentados grado I. Siendo estos los que lograron el máximo de temperatura para el día 4. Así como, el mejor comportamiento en los parámetros físico químicos y mayor cantidad y profundidad de fisuras internas.

Los granos categoría A, presecados, fermentados en sacos de yute y los granos categoría B sin presecado, fermentados en caja de madera (T2 y T7), clasificaron como granos fermentados grado II.

Los granos categoría A, con y sin presecado, fermentados en caja de madera (T1 y T3), al igual que los granos categoría B, presecados, con ambos tipos de fermentadores (T5 y T6), se consideran como granos sin fermentar, debido a la cantidad de granos pizarrosos.

4.8. Costeo de los tratamientos

Los costos para cada tratamiento se calcularon considerando el uso del fermentador (caja o saco) según el tratamiento, dos trabajadores, sacos y plásticos para cubrir los fermentadores (Cuadro A - 51). Para la aplicación de los tratamientos con presecado son necesarios ocho días de trabajo y siete días para los tratamientos sin presecado. El cálculo excluye costos variables como el cacao y cualquier otro insumo.

El menor costo de un proceso de fermentación es sin la aplicación del presecado, con el uso de sacos como fermentador (T4 y T8) con un valor de: \$257.33. Igualmente, al realizar la estimación para seis meses en cuyo periodo se hacen doce procesos de fermentación (considerando que el cacao se recibe cada quince días), ambos tratamientos requieren de una menor inversión, obteniendo los mismos resultados al hacer la proyección a un año (Cuadro A - 52).

No obstante, las cajas de madera tienen un tiempo de vida útil más largo, por lo que, no requiere una reinversión a corto plazo; debido a esto, su costo se va dividiendo a medida que se hace uso de ellas, obteniendo costos menores a largo plazo (5 años). Caso contrario el de los sacos, pues el desgaste de ellos es más rápido y se requiere de una nueva compra en poco tiempo.

5. CONCLUSIONES

La mejor interacción entre tipo de fermentador y método de fermentación para el cacao acopiado en ACPACI de R.L., fue el uso de sacos de yute sin presecado en ambas categorías de grano (T4 y T8), obteniendo un cacao de calidad grado I, con el menor costo de inversión.

El saco de yute comparado con la caja de madera fue el tipo de fermentador que mostró los mejores resultados para la fermentación del cacao de ACPACI de R.L.

El método con presecado no tiene un beneficio verificable debido a que los cacaos trinitarios en las fincas en estudio no presentaban un exceso en la cantidad de mucilago.

La clasificación de categoría de grano en A y B, basada en la cantidad de mucilago, no genera diferencias significativas en el proceso de fermentación, siendo esta poco práctica e innecesaria al momento de fermentar.

Las pruebas para determinar el grado de fermentación y calidad física del grano presentan limitaciones, puesto que la prueba de agua es un método poco preciso para la evaluación de la fermentación, pues la flotación de los granos no depende únicamente del hinchamiento durante el proceso, sino que a otros factores como el espesor de la testa. Así mismo la prueba de corte es subjetiva y el resultado dependerá de las condiciones ambientales de luz y del grado de conocimiento del evaluador.

Realizar los procesos de fermentación y secado afectaron el contenido de grasa en los granos de cacao, ya que hubo una disminución entre el 5 y 11%.

6. RECOMENDACIONES

En ACPACI de R.L. se pueden mejorar los resultados en la fermentación con las siguientes recomendaciones:

Realizar una separación por colores de las mazorcas antes del proceso de fermentación.

Caracterizar los materiales vegetales por finca con el fin de uniformizar la cosecha y fermentación.

En El Salvador es necesario generar nuevas investigaciones sobre cacao tales como:

Evaluar otros tipos de fermentador como cajas Rohan y cajones en escalera para la fermentación de cacao.

Indagar sobre el perfil microbiológico del proceso de fermentación.

Investigar sobre los periodos de aguante en la mazorca y su influencia en la fermentación.

Evaluar el proceso de degradación de las grasas durante los procesos de fermentación y secado del grano de cacao.

Investigar sobre los contenidos de alcohol y acidez en cotiledón, testa y lixiviado evaluando su comportamiento según el tipo de cacao y su incidencia en la fermentación.

7. BIBLIOGRAFÍA

AOAC (Association of official analytical chemist). 1980. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist. Decimotercera edición. USA. 1018 p.

Anacafé (Asociación Nacional del Café, GT). s.f. Cultivo de cacao. (En línea). Consultado: 18 ene. 2017. Disponible en: http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_cacao

Armijos, A. 2002. Características de acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (*Theobroma cacao L.*) fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación. (En línea). Consultado: 19 sep. 2016. Disponible en: https://books.google.com/sv/books?id=iXszAQAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Asep, E; Jinap, S; Tan, T; Russly, A; Harcharan, S; Nazimah, S. 2008. The effects of particle size, fermentation and roasting of cocoa nibs on supercritical fluid extraction of cocoa butter. (En línea). Consultado: 1 feb. 2017. Disponible en: http://www.worldcocoaoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/asep2008.pdf

Ávila, A; Campos, M; Guharay, F; Camacho, A. 2013. Aprendiendo e innovando sobre la cosecha, fermentación y secado del cacao. (En línea). Consultado: 1 sep. 2016. Disponible en: http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/19_Guia_8_Beneficiado.pdf

Batista L. 2009. El Cultivo de Cacao. (En línea). Consultado: 18 jul. 2016. Disponible en: <http://www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>

Bravo, N; Mingo, F. 2011. Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (*Theobroma cacao L*) en la parroquia Panguintza del cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe. (En línea). Consultado: 23 jun. 2015. Disponible en: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/4951>

Caballero, J; Hernández, C; Avendaño, C. 2014. La fermentación y el secado al sol de granos de cacao. (En línea). Consultado: 30 sep. 2016. Disponible en: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4312/010208303400064409_CIRPAS.pdf?sequence=1

Camargo, L; Carvajal, J; Posada, C; Torres, A. 2009. Maquinaria y equipos para la producción de chocolate. (En línea). Consultado: 26 sep. 2016. Disponible en:

<https://es.scribd.com/doc/89548798/MANUAL-DE-MAQUINARIAS-Y-EQUIPOS-PARA-CHOCOLATERIA>

CANACACAO (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica, CR). s.f. Fermentación especial Clon CCN-51. (En línea). Consultado: 26 jun. 2015. Disponible en: <http://www.canacacao.org/contenido.item.50/fermentaci%F3n-especial-clon-ccn-51.html>

Casa Luker. 2012. Cacao fino de aroma. (En línea). Consultado: 1 jul. 2016. Disponible en: <http://www.lukeringredients.com/es/home>

Castañeda, V; Hernández, L; Quintanilla, G; Morán, A; Morazán, I; Gómez, G. 2015. La Bioprospección del Cacao Criollo de El Salvador: Redescubriendo la riqueza de un centro de domesticación de cacao prehispánico en Mesoamérica (disco compacto). San Salvador, El Salvador. CENSALUD. 1 disco compacto.

Cerrón, G. 2012. Asistencia técnica dirigida en manejo del cultivo de cacao. (En línea). Consultado: 19 ene. 2017. Disponible en: <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/010-f-cacao.pdf>

COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales, VE). 1995. Granos de cacao. (En línea). Consultado: 12 sep. 2016. Disponible en: www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/50-95.pdf

Cros, E. 2000. Memorias del Primer Congreso Venezolano del Cacao y su Industria Maracay. (En línea). Consultado: 12 sep. 2016 Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/86984357/Memorias-1er-Congreso-Vzlno-de-Cacao-Fundacite-Aragua>

Cruz, J de la; Vargas, M; Del Ángel, O. 2012. Cacao: operaciones poscosecha. (En línea). Consultado 12 ene. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>

Cubillos, G; Merizalde, G; Correa, E. 2008. Manual de beneficio del cacao 2008 Para: técnicos, profesionales del sector agropecuario y productores. (En línea). Consultado 22 ene. 2017. Disponible en: https://chocolates.com.co/sites/default/files/default_images/manual_beneficio_cacao.pdf

Dostert, N; Roque, J; Cano, A; La Torre, M; Weigend, M. 2011. Hoja botánica: Cacao. *Theobroma cacao* L. (En línea). Consultado: 21 abr. 2016. Disponible en: http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf

Enríquez, E. 1985. Curso sobre el cultivo de cacao. Coedición Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas CATIE. Costa Rica. 240p.

_____. **1987.** Manual del cacao para agricultores, Coedición Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas CATIE. Universidad Estatal a Distancia San José de Costa Rica. 244p.

FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros, CO) 2004. El beneficio y características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao L.*). (En línea). Consultado: 7 jul. 2016. Disponible en: http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_06B.pdf

_____. **2007.** Guía técnica para el cultivo del cacao. (En línea). Consultado: 2 jul. 2015. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/210143086/Fedecacao-2007-Guia-tecnica-para-el-cultivo-del-cacao-2%C2%AA-ed>

García P. 2000. Caracterización microbiana, bioquímica y cinética del proceso de fermentación tradicional durante el beneficio de cacao. (En línea). Consultado: 23 sep. 2016. Disponible en: www.imbe.fr/docrestreint.../re-11_2000_maestria_pedro_garcia_allamilla_9066_.pdf

Graziani, L; Ortiz, L; Álvarez, N; Trujillo, A. 2003. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. (En línea). Consultado: 23 nov. 2015. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000200005

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, EC). 2006. Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria NTE INEN 176:2006. Cacao en grano. Requisitos. (En línea). Consultado: 23 ago. 2015. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0176.2006.pdf>

INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2009. Norma técnica Cacao y productos derivados del cacao — Cacao en grano — Clasificación y requisitos. (En línea). Consultado: 19 ene. 2017. Disponible en: http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19_INTE_23-02-04-09.pdf

Jiménez, J. 2000. Efecto de dos métodos de fermentación sobre la calidad de tres grupos de cacao *Theobroma cacao L.* cultivados en la zona de Quevedo provincia de Los Ríos. (En línea). Consultado: 20 sep. 2016. Disponible en: <https://books.google.com.sv/books?id=IrkAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Lambert, S. s.f. Fermentación del cacao. Aspectos generales. (En línea). Consultado: 5 may. 2016. Disponible en: http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/19_Fermentacion_del_Cacao.pdf

Loayza, W. 2014. Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao (*Theobroma Cacao*, L.) de Satipo. (En línea). Consultado: 19 feb. 2017. Disponible en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/cybertesis/3877/Loayza_lw.pdf?sequence=1

Loor, N. 2006. Rehabilitación de huertas y fermentación del cacao fino de aroma bajo riego. (En línea). Consultado: 1 jul. 2015. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5499>

Malespín, M. 1982. El cacao. (En línea). Consultado: 20 sep. 2016. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=MeIOAQAAIAAJ>

Martínez, L. 2015. Estandarización del sistema de fermentación de cacao semilla. (En línea). Consultado: 23 jun. 2015. Disponible en: https://es.scribd.com/doc/280702732/Estandarizacion-de-Fermentacion-Cacao?secret_password=pEB0z2NVBbxc2jbqmVuA

Morazán, A. 2012. Evaluación de las características microultraestructurales para el control de calidad de la fermentación de ocho genotipos diferentes de semillas fermentadas de *Theobroma cacao* L. (En línea). Consultado: 20 jun. 2015. Disponible en: http://ri.ues.edu.sv/2293/1/TESIS_MICROULTRAESTRUCTURA_DE_SEMILLAS_DE_CACAO.pdf

Mota, I de la. 2007. El libro del chocolate. (En línea). Consultado: 20 ene. 2016. Disponible en: <http://www.confiteriamarques.com/index.php/m,35/el-arbol-del-cacao-cultivo-y-recoleccion>

Orellana, T; Molina, L. 2012. Estudio físico-químico y microbiológico en el proceso de fermentación tradicional y no tradicional, mediante la utilización de cuatro medios de cultivo para identificar la presencia de levaduras, bacterias lácticas y acéticas en las semillas de cacao *Theobroma cacao* del ecotipo Trinitario, cultivado en la Hacienda San José del Real de La Carrera – Usulután. (En línea). Consultado: 14 jun. 2016. Disponible en: http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/04/AGI/00_01695-ADTESOE.pdf

Ortiz, K; Álvarez, R. 2015. Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia). (En línea). Consultado: 5 oct. 2016.

Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682015000100005#t2

Palacios, Á. 2008. Establecimientos de parámetros (físicos, químicos y organolépticos) para diferenciar y valorizar el cacao (*Theobroma cacao L.*) producido en dos zonas identificadas al norte y sur del litoral ecuatoriano. (En línea). Consultado: 1 jun. 2016. Disponible en: www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/ESTABLECIMIENTOS_PARAMETROS.pdf

Paredes, M. 2003. Manual del cultivo de cacao. (En línea). Consultado: 20 jun 2016. Disponible en: <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/215.pdf>.

Portillo, E; Graziani, L; Cros, E. 2006. Efectos de algunos factores postcosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao L.*). Consultado: 25 ene. 2017. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100005

Ramos, G. 2017. Aspectos generales sobre la fermentación del cacao. In Análisis sensorial del licor de cacao y Primer concurso nacional de calidad de cacao: Revitalizando el Cacao fino de aroma (1, 2017, La libertad. El Salvador).

Recalde, A. 2007. Evaluación del efecto del presecado y tiempo de fermentación en los contenidos de polifenoles totales, alcaloides y ácidos volátiles en dos genotipos de cacao. (En línea). Consultado: 5 oct. 2016. Disponible en: <https://books.google.com.sv/books?id=78wbAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Reyes, H; Vivas, J; Romero, A. 2000. La calidad del cacao: II. Cosecha y fermentación. (En línea). Consultado: 16 jun 2015. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd66/texto/calidadcacao.htm

Reyes, H; Capriles, L. El cacao en Venezuela. Moderna tecnología para su cultivo. (En línea). Consultado: 6 sep. 2016. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/23271157/Cacao-REYES>

Riera, M. 2009. Evaluación de tecnologías para la fermentación del cacao beneficiado CCN-51 (*Theobroma cacao L.*). (En línea). Consultado: 24 jun. 2015. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/157905210/TESIS-FERMENTACION-DE-CACAO-pdf>

Rufino, L; Morete, M; López, A. 2012. Mejoramiento del sistema de calidad del cacao fino de aroma en el proceso de post cosecha de la región tumbes. (En línea). Consultado: 23 ene. 2017. Disponible en: http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manualesboletines/cacao/resumen_completo.pdf

Saavedra, Z. 2012. Manual de control de calidad del cacao. (En línea). Consultado: 5 sep. 2016. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/192222893/manual-de-calidad-del-cacao-pdf>

Sánchez, S. 2007. Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. (En línea). Consultado: 5 oct. 2016. Disponible en: http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Caracterizacion_organoleptica_cacao%20_Theobroma%20cacao%20L._seleccion_arboles_%20perfiles_sabor_interes_comercial.pdf

Schwan, R; Wheals, A. 2004. The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. (disco compacto). Massachusetts, Estados Unidos de América. 1 disco compacto.

Stevenson, C; Corven, J; Villanueva, G. 1993. Manual para análisis de cacao en el laboratorio. (En línea). Consultado: 1 ago. 2016. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9237e/A9237e.pdf>

Torres, O; Graziani, L; Ortiz, L; Trujillo, A. 2003. Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca del cacao tipo forastero de cuy agua sobre características del grano en fermentación. (En línea). Consultado: 5 sep. 2016. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000400007

Vera, V; Murillo, R. 2010. Determinación de la humedad óptima para el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de ciencias matemáticas, físicas y químicas de la Universidad Técnica de Manabí. (En línea). Consultado: 5 sep. 2016. Disponible en: https://es.scribd.com/document/331950009/Determinacion-de-la-humedad-optima-para-el-secado-del-cacao?secret_password=MNN60q3tj79oN4nSSF4d

Wacher, M. 2011. Microorganismos y chocolate. (En línea). Consultado: 19 ene. 2017. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num4/art42/art42.pdf>

8. ANEXOS

Cuadro A - 1. Composición química del cotiledón de cacao fresco

Componente	Porcentaje
Grasa	54.0
Agua	32.5
Proteína	11.5
Ácidos orgánicos y aromas	9.5
Celulosa	9.0
Ácidos tánicos y color	6.0
Sales minerales	2.6
Teobromina	2.5
Azúcares	2.5
Cafeína	1.0

Fuente: Elaboración propia con datos de Loayza 2014, Mejía y Arguello, citado por Ortiz y Álvarez 2015.

Cuadro A - 2. Composición química del mucílago de cacao

Componente	Porcentaje (base húmeda)
Agua	79.20 – 84.20
Azúcares	12.50 – 15.90
Glucosa	11.60 – 15.32
Pectinas	0.90 – 1.19
Ácido cítrico	0.77 – 1.52
Cenizas	0.40 – 0.50
Proteína	0.09 – 0.11

Fuente: Mejía y Arguello, citado por Ortiz y Álvarez 2015.

Cuadro A - 3. Composición química del grano de cacao fermentado y seco

Componente	Porcentaje máximo de cotiledón	Porcentaje máximo de testa
Grasa	57.0	5.9
Proteína	15.6	20.0
Almidón	9.0	5.2
Cenizas	4.2	20.7
Agua	3.2	6.6
Fibra cruda	3.2	19.2
Teobromina	1.3	0.9
Cafeína	0.7	0.3

Fuente: De la Cruz *et al.* 2012.

Cuadro A - 4. Análisis de varianza para °Brix en el último día de fermentación

Variable: °Brix	R ² : 0.42			CV: 27.47	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.35	9	0.261	1.12	0.407
BLOQUE	0.06	2	0.032	0.14	0.874
Clasificación del grano	0.12	1	0.12	0.52	0.483
Método de fermentación	0.57	1	0.57	2.46	0.139
Tipo de fermentador	1.08	1	1,084	4.67	0.049*
Clasificación*Método	0.09	1	0.094	0.4	0.535
Clasificación*Tipo	0.05	1	0.05	0.22	0.648
Método*Tipo	0.18	1	0.184	0.79	0.389
Clasificación*Método*Tipo	0.18	1	0.184	0.79	0.389
Error	3.25	14	0.232		
Total	5.6	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 5. Prueba de Tukey de grados Brix en último día de fermentación para tipo de fermentador

Tipo de fermentador	Medias	n	E.E.	
Saco	1.97	12	0.14	A
Caja	1.54	12	0.14	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 6. Análisis de varianza para pH en el último día de fermentación

Variable pH	R ² : 0.79			CV: 3.22	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.92	9	0.21	6.02	0.002
BLOQUE	0.63	2	0.32	8.88	0.003
Clasificación del grano	0.17	1	0.17	4.7	0.048*
Método de fermentación	0.48	1	0.48	13.58	0.002*
Tipo de fermentador	0.48	1	0.48	13.58	0.002*
Clasificación*Método	0.01	1	0.01	0.42	0.526
Clasificación*Tipo	0.01	1	0.01	0.42	0.526
Método*Tipo	0.11	1	0.11	3.01	0.105
Clasificación*Método*Tipo	0.03	1	0.03	0.75	0.401
Error	0.5	14	0.04		

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 7. Prueba de Tukey pH último día de fermentación para clasificación del grano

Clasificación del grano	Medias	n	E.E.	
Categoría B	5.93	12	0.05	A
Categoría A	5.77	12	0.05	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 8. Prueba de Tukey pH en último día de fermentación para método

Método de fermentación	Medias	n	E.E.	
Con presecado	5.99	12	0.05	A
Sin presecado	5.71	12	0.05	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 9. Prueba de Tukey pH último día de fermentación para tipo de fermentador

Tipo de fermentador	Medias	n	E.E.	
Saco	5.99	12	0.05	A
Caja	5.71	12	0.05	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 10. Análisis de varianza para grados Alcohol en último día de fermentación

Variable: °Alcohol	R ² : 0.50			CV: 24.31	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.77	9	0.31	1.58	0.212
BLOQUE	0.54	2	0.27	1.4	0.279
Clasificación del grano	0.09	1	0.09	0.48	0.498
Método de fermentación	0.4	1	0.4	2.06	0.173
Tipo de fermentador	1.45	1	1.45	7.47	0.016*
Clasificación*Método	0.12	1	0.12	0.62	0.444
Clasificación*Tipo	0.02	1	0.02	0.11	0.750
Método*Tipo	0.07	1	0.07	0.36	0.557
Clasificación*Método*Tipo	0.07	1	0.07	0.36	0.557
Error	2.72	14	0.19		
Total	5.49	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 11. Prueba de Tukey de grados Alcohol en el último día de fermentación para tipo de fermentador

Tipo de fermentador	Medias	n	E.E.	
Caja	2.06	12	0.13	A
Saco	1.57	12	0.13	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 12. Análisis de varianza para Acidez en el último día de fermentación

Variable: Acidez		R²: 0.68		CV: 33.11	
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo.	25.06	9	2.78	3.31	0.022
BLOQUE	4.98	2	2.49	2.96	0.085
Clasificación del grano	4.38	1	4.38	5.21	0.039*
Método de fermentación	5.79	1	5.79	6.89	0.020*
Tipo de fermentador	0.37	1	0.37	0.44	0.517
Clasificación*Método	0	1	0.00	0.00	0.998
Clasificación*Tipo	1.78	1	1.78	2.11	0.168
Método*Tipo	7.76	1	7.76	9.23	0.009*
Clasificación*Método*Tipo	0	1	0.00	0.00	0.998
Error	11.77	14	0.84		
Total	36.83	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 13. Prueba de Tukey de Acidez en el último día de fermentación para clasificación de grano

Clasificación de grano	Medias	n	E.E.	
Categoría A	3.20	12	0.26	A
Categoría B	2.34	12	0.26	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 14. Prueba de Tukey de Acidez en el último día de fermentación para método

Método de fermentación	Medias	n	E.E.	
Sin presecado	3.26	12	0.26	A
Con presecado	2.28	12	0.26	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 15. Prueba de Tukey de Acidez en el último día de fermentación para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador

Método	Tipo	Medias	n	E.E.	
Sin presecado	Saco	3.71	6	0.37	A
Con presecado	Caja	2.97	6	0.37	A B
Sin presecado	Caja	2.82	6	0.37	A B
Con presecado	Saco	1.59	6	0.37	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 16. Comportamiento de color interno del grano durante la fermentación expresado en el modelo de color RGB

Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	R 145	R 156	R 142	R 141	R 134	R 162	R 169	R 167
	G 108	G 101	G 96	G 101	G 72	G 104	G 110	G 125
	B 116	B 122	B 99	B 101	B 71	B 101	B 106	B 135
1	R 114	R 107	R 142	R 141	R 110	R 130	R 169	R 167
	G 72	G 58	G 96	G 101	G 64	G 79	G 110	G 125
	B 74	B 61	B 99	B 101	B 64	B 75	B 106	B 135
2	R 110	R 107	R 144	R 141	R 110	R 130	R 169	R 167
	G 69	G 58	G 95	G 101	G 64	G 79	G 110	G 125
	B 77	B 61	B 101	B 101	B 64	B 75	B 106	B 135
3	R 91	R 107	R 116	R 144	R 110	R 134	R 118	R 145
	G 69	G 58	G 71	G 71	G 64	G 66	G 68	G 88
	B 72	B 61	B 76	B 65	B 64	B 55	B 69	B 99
4	R 91	R 99	R 106	R 144	R 95	R 112	R 118	R 145
	G 69	G 65	G 51	G 71	G 51	G 54	G 68	G 88
	B 72	B 56	B 46	B 65	B 64	B 43	B 69	B 99
5	R 91	R 108	R 106	R 87	R 95	R 112	R 112	R 145
	G 69	G 68	G 51	G 46	G 51	G 54	G 59	G 88
	B 72	B 56	B 46	B 42	B 64	B 43	B 53	B 99
6	R 91	R 108	R 106	R 115	R 120	R 112	R 112	R 138
	G 69	G 68	G 51	G 56	G 54	G 54	G 59	G 49
	B 72	B 56	B 46	B 46	B38	B 43	B 53	B 17

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A - 17. Análisis de varianza para pH después del secado

Variable pH en secado	R ² : 0.72			CV: 2.73	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1	9	0.11	4.05	0.010
BLOQUE	0.35	2	0.18	6.42	0.011
Clasificación del grano	0.07	1	0.07	2.58	0.131
Método de fermentación	0.18	1	0.18	6.73	0.021*
Tipo de fermentador	0.18	1	0.18	6.73	0.021*
Clasificación*Método	0.01	1	0.01	0.38	0.547
Clasificación*Tipo	0.18	1	0.18	6.73	0.021*
Método*Tipo	0.00	1	0	0.14	0.717
Clasificación*Método*Tipo	0.01	1	0.01	0.38	0.547
Error	0.38	14	0.03		
Total	1.38	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 18. Prueba de Tukey de pH después del secado para método de fermentación

Método de fermentación	Medias	n	E.E.
Con presecado	6.13	12	0.05 A
Sin presecado	5.96	12	0.05 B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 19. Prueba de Tukey de pH después del secado para tipo de fermentador

Tipo de fermentador	Medias	n	E.E.	
Saco	6.13	12	0.05	A
Caja	5.96	12	0.05	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 20. Prueba de Tukey de pH después del secado para la interacción clasificación de grano - tipo de fermentador

Clasificación	Tipo	Medias	n	E.E.	
Categoría A	Saco	6.17	6	0.07	A
Categoría B	Saco	6.17	6	0.07	A
Categoría B	Caja	6.10	6	0.07	A
Categoría A	Caja	5.82	6	0.07	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 21. Análisis de varianza para grados Brix después del secado

Variable °Brix en secado	R ² : 0.62			CV: 35.11	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,50	9	0,50	2,53	0,058
BLOQUE	0,23	2	0,12	0,58	0,571
Clasificación del grano	0,24	1	0,24	1,21	0,289
Método de fermentación	0,48	1	0,48	2,44	0,141
Tipo de fermentador	1,13	1	1,13	5,70	0,032*
Clasificación*Método	0,00	1	0,00	0,01	0,928
Clasificación*Tipo	0,54	1	0,54	2,73	0,121
Método*Tipo	1,40	1	1,40	7,09	0,019*
Clasificación*Método*Tipo	0,48	1	0,48	2,44	0,141
Error	2,77	14	0,20		
Total	7,27	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 22. Prueba de Tukey grados Brix después del secado para tipo de fermentador

Tipo de fermentador	Medias	n	E.E.	
Caja	1.48	12	0.13	A
Saco	1.05	12	0.13	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 23. Prueba de Tukey de grados Brix después del secado para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador

Método	Tipo	Medias	n	E.E.	
Sin presecado	Caja	1.87	6	0.18	A
Con presecado	Saco	1.15	6	0.18	A B
Con presecado	Caja	1.10	6	0.18	B
Sin presecado	Saco	0.95	6	0.18	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 24. Análisis de varianza para grados de alcohol después del secado

Variable $\%$ Alcohol en secado	R ² : 0.45			CV: 29.55	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,58	9	0,18	1,28	0,329
BLOQUE	0,15	2	0,08	0,55	0,589
Clasificación del grano	0,07	1	0,07	0,51	0,486
Método de fermentación	0,35	1	0,35	2,55	0,132
Tipo de fermentador	0,15	1	0,15	1,10	0,313
Clasificación*Método	0,00	1	0,00	0,00	0,957
Clasificación*Tipo	0,30	1	0,30	2,21	0,159
Método*Tipo	0,40	1	0,40	2,92	0,110
Clasificación*Método*Tipo	0,15	1	0,15	1,10	0,313
Error	1,92	14	0,14		
Total	3,50	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 25. Análisis de varianza para acidez después del secado

Variable Acidez en secado	R ² : 0.45			CV: 28.33	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,78	9	0,20	1,27	0,333
BLOQUE	0,95	2	0,47	3,03	0,081
Clasificación del grano	0,05	1	0,05	0,35	0,566
Método de fermentación	0,07	1	0,07	0,46	0,507
Tipo de fermentador	0,24	1	0,24	1,51	0,240
Clasificación*Método	0,01	1	0,01	0,08	0,777
Clasificación*Tipo	0,09	1	0,09	0,57	0,464
Método*Tipo	0,22	1	0,22	1,43	0,251
Clasificación*Método*Tipo	0,15	1	0,15	0,94	0,348
Error	2,19	14	0,16		
Total	3,97	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 26. Análisis de varianza para porcentaje de grasa

Variable: Porcentaje de Grasa	R ² : 0.34			CV: 9.02	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	92.16	9	10.24	0.79	0.628
BLOQUE	13.58	2	6.79	0.53	0.602
Clasificación del grano	0.13	1	0.13	0.01	0.922
Método de fermentación	0	1	0	0	0.988
Tipo de fermentador	54.48	1	54.48	4.22	0.059
Clasificación*Método	0.05	1	0.05	0	0.954
Clasificación*Tipo	1.18	1	1.18	0.09	0.767
Método*Tipo	22.35	1	22.35	1.73	0.209
Clasificación*Método*Tipo	0.4	1	0.4	0.03	0.864
Error	180.56	14	12.9		
Total	272.73	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 27. Análisis de varianza para porcentaje de proteína

Variable: Porcentaje de proteína		R ² : 0.52		CV: 3.57	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.85	9	0.65	1.66	0.191
BLOQUE	1.64	2	0.82	2.09	0.161
Clasificación del grano	0.25	1	0.25	0.65	0.434
Método de fermentación	1.49	1	1.49	3.79	0.072
Tipo de fermentador	0.96	1	0.96	2.46	0.139
Clasificación*Método	0.00	1	0.00	0.01	0.926
Clasificación*Tipo	1.31	1	1.31	3.35	0.089
Método*Tipo	0.14	1	0.14	0.35	0.565
Clasificación*Método*Tipo	0.06	1	0.06	0.16	0.699
Error	5.49	14	0.39		
Total	11.34	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 28. Análisis de varianza para porcentaje de ceniza

Variable: Porcentaje de ceniza		R ² : 0.84		CV: 6.91	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	55,630	9	0.6181	8,700	0.0002
BLOQUE	35,533	2	17,767	25,007	0.0000
Clasificación del grano	0.028	1	0.028	0,394	0.540
Método de fermentación	0.9761	1	0.9761	13,739	0.002*
Tipo de fermentador	0.0003	1	0.0003	0,004	0.952
Clasificación*Método	0.0451	1	0.0451	0,634	0.439
Clasificación*Tipo	0.0771	1	0.0771	1,085	0.315
Método*Tipo	0.5704	1	0.5704	8,029	0.013*
Clasificación*Método*Tipo	0.3128	1	0.3128	4,403	0.054
Error	0.9946	14	0.071		
Total	65,576	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 29. Prueba de Tukey de porcentaje de ceniza para método de fermentación

Método de fermentación	Medias	n	E.E.	
Con presecado	4.05	12	0.08	A
Sin presecado	3.65	12	0.08	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 30. Prueba de Tukey porcentaje de ceniza para la interacción método - tipo

Método	Tipo	Medias	n	E.E.	
Con presecado	Saco	4.21	6	0.11	A
Con presecado	Caja	3.90	6	0.11	A B
Sin presecado	Caja	3.80	6	0.11	A B
Sin presecado	Saco	3.50	6	0.11	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 31. Análisis de varianza para grano bien fermentado con prueba de agua

Variable: Bien fermentadas		R²: 0.77		CV: 17.18	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9041.71	9	1004.63	5.07	0.004
BLOQUE	78.08	2	39.04	0.2	0.823
Clasificación del grano	1520.04	1	1520.04	7.67	0.015*
Método de fermentación	2501.04	1	2501.04	12.62	0.003*
Tipo de fermentador	2501.04	1	2501.04	12.62	0.003*
Clasificación*Método	345.04	1	345.04	1.74	0.208
Clasificación*Tipo	287.04	1	287.04	1.45	0.249
Método*Tipo	1683.38	1	1683.38	8.49	0.011*
Clasificación*Método*Tipo	126.04	1	126.04	0.64	0.439
Error	2775.25	14	198.23		
Total	11816.96	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 32. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para clasificación de grano

Clasificación de grano	Medias	n	E.E.	
Categoría B	89.92	12	4.06	A
Categoría A	74.00	12	4.06	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 33. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para método de fermentación

Método de fermentación	Medias	n	E.E.	
Con presecado	97.12	12	4.06	A
Sin presecado	71.75	12	4.06	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 34. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para tipo de fermentador

Tipo de fermentador	Medias	n	E.E.	
Saco	97.17	12	4.06	A
Caja	71.75	12	4.06	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 35. Prueba de Tukey de grano bien fermentado con prueba de agua para la interacción método - tipo

Método	Tipo	Medias	n	E.E.	
Con presecado	Saco	94.00	6	0.11	A
Con presecado	Caja	90.33	6	0.11	A
Sin presecado	Saco	90.33	6	0.11	A
Sin presecado	Caja	53.17	6	0.11	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 36. Análisis de varianza para grano mal fermentado con prueba de agua

Variable: Bien fermentadas		R ² : 0.77		CV: 78.04	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9041.71	9	1004.63	5.07	0.004
BLOQUE	78.08	2	39.04	0.2	0.823
Clasificación del grano	1520.04	1	1520.04	7.67	0.015*
Método de fermentación	2501.04	1	2501.04	12.62	0.003*
Tipo de fermentador	2501.04	1	2501.04	12.62	0.003*
Clasificación*Método	345.04	1	345.04	1.74	0.208
Clasificación*Tipo	287.04	1	287.04	1.45	0.249
Método*Tipo	1683.38	1	1683.38	8.49	0.011*
Clasificación*Método*Tipo	126.04	1	126.04	0.64	0.439
Error	2775.25	14	198.23		
Total	11816.96	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 37. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para clasificación de grano

Clasificación de grano	Medias	n	E.E.	
Categoría A	26.00	12	4.06	A
Categoría B	10.08	12	4.06	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 38. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para método de fermentación

Método de fermentación	Medias	n	E.E.	
Sin presecado	28.25	12	4.06	A
Con presecado	7.83	12	4.06	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 39. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para tipo de fermentador

Tipo de fermentador	Medias	n	E.E.	
Caja	28.25	12	4.06	A
Saco	7.83	12	4.06	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 40. Prueba de Tukey de grano mal fermentado con prueba de agua para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador

Método	Tipo	Medias	n	E.E.	
Sin presecado	Caja	46.83	6	0.11	A
Sin presecado	Saco	9.67	6	0.11	B
Con presecado	Caja	9.67	6	0.11	B
Con presecado	Saco	6.00	6	0.11	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 41. Análisis de varianza para grano bien fermentado con prueba de corte

Variable: Bien fermentadas		R ² : 0.38		CV: 21.59	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1282.21	9	142.47	0.96	0.507
BLOQUE	537.25	2	268.63	1.81	0.199
Clasificación del grano	22.04	1	22.04	0.15	0.705
Método de fermentación	330.04	1	330.04	2.23	0.158
Tipo de fermentador	26.04	1	26.04	0.18	0.681
Clasificación*Método	145.04	1	145.04	0.98	0.339
Clasificación*Tipo	18.37	1	18.37	0.12	0.730
Método*Tipo	198.38	1	198.38	1.34	0.266
Clasificación*Método*Tipo	5.04	1	5.04	0.03	0.856
Error	2073.42	14	148.10		
Total	3355.63	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 42. Análisis de varianza para grano levemente fermentado con prueba de corte

Variable: Levemente fermentadas		R ² : 0.32		CV: 31.90	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	205.71	9	22.86	0.74	0.671
BLOQUE	3.08	2	1.54	0.05	0.952
Clasificación del grano	3.38	1	3.38	0.11	0.746
Método de fermentación	77.04	1	77.04	2.48	0.137
Tipo de fermentador	15.04	1	15.04	0.48	0.498
Clasificación*Método	22.04	1	22.04	0.71	0.413
Clasificación*Tipo	30.38	1	30.38	0.98	0.339
Método*Tipo	45.38	1	45.38	1.46	0.247
Clasificación*Método*Tipo	9.38	1	9.38	0.30	0.591
Error	434.25	14	31.02		
Total	639.96	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 43. Análisis de varianza para grano violeta con prueba de corte

Variable: Violetas		R ² : 0.36		CV: 40.79	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	632.38	9	70.26	0.86	0.577
BLOQUE	547.75	2	273.88	3.36	0.064
Clasificación del grano	45.38	1	45.38	0.56	0.468
Método de fermentación	18.38	1	18.38	0.23	0.642
Tipo de fermentador	1.04	1	1.04	0.01	0.912
Clasificación*Método	1.04	1	1.04	0.01	0.912
Clasificación*Tipo	15.04	1	15.04	0.18	0.674
Método*Tipo	0.38	1	0.38	0.00	0.947
Clasificación*Método*Tipo	3.38	1	3.38	0.04	0.842
Error	1140.25	14	81.45		
Total	1772.63	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 44. Análisis de varianza para grano pizarroso con prueba de corte

Variable: Pizarrosas		R ² : 0.83		CV: 39.82	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	167.25	9	18.58	5.13	0.003
BLOQUE	3.25	2	1.63	0.45	0.648
Clasificación del grano	6.00	1	6.00	1.66	0.219
Método de fermentación	37.50	1	37.50	10.34	0.006*
Tipo de fermentador	0.17	1	0.17	0.05	0.833
Clasificación*Método	37.50	1	37.50	10.34	0.006*
Clasificación*Tipo	37.50	1	37.50	10.34	0.006*
Método*Tipo	42.67	1	42.67	11.77	0.004*
Clasificación*Método*Tipo	2.67	1	2.67	0.74	0.406
Error	50.75	14	3.63		
Total	218.00	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 45. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para método de fermentación

Método de fermentación	Medias	n	E.E.	
Con presecado	4.75	12	0.55	A
Sin presecado	2.25	12	0.55	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 46. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para la interacción clasificación de grano - método de fermentación

Clasificación	Método	Medias	n	E.E.	
Categoría B	Con presecado	6.50	6	0.78	A
Categoría A	Sin presecado	3.00	6	0.78	B
Categoría A	Con presecado	3.00	6	0.78	B
Categoría B	Sin presecado	1.50	6	0.78	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 47. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para la interacción clasificación de grano - tipo de fermentador

Clasificación	Tipo	Medias	n	E.E.	
Categoría B	Saco	5.17	6	0.78	A
Categoría A	Caja	4.33	6	0.78	A B
Categoría B	Caja	2.83	6	0.78	A B
Categoría A	Saco	1.67	6	0.78	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 48. Prueba de Tukey de grano pizarroso con prueba de corte para la interacción método de fermentación - tipo de fermentador

Método	Tipo	Medias	n	E.E.	
Con presecado	Saco	6.00	6	0.78	A
Sin presecado	Caja	3.67	6	0.78	A B
Con presecado	Caja	3.50	6	0.78	A B
Sin presecado	Saco	0.83	6	0.78	B

Fuente: Elaboración propia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro A - 49. Análisis de varianza grano con presencia de moho con prueba de corte

Variable: Con presencia de moho		R ² : 0.41		CV: 215.07	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12.96	9	1.44	1.06	0.444
BLOQUE	4.33	2	2.17	1.60	0.237
Clasificación del grano	2.04	1	2.04	1.50	0.240
Método de fermentación	1.04	1	1.04	0.77	0.396
Tipo de fermentador	0.04	1	0.04	0.03	0.863
Clasificación*Método	0.04	1	0.04	0.03	0.863
Clasificación*Tipo	0.04	1	0.04	0.03	0.863
Método*Tipo	2.04	1	2.04	1.50	0.240
Clasificación*Método*Tipo	3.38	1	3.38	2.49	0.137
Error	19	14	1.36		
Total	31.96	23			

Fuente: Elaboración propia. *Significativos al 5%

Cuadro A - 50. Clasificación de cacao según la norma INTE 23-02-04-09

Especificaciones	Fermentado		Sin fermentar
	Grado I	Grado II	
Tamaño del grano máximo	95 granos/100g	95 granos/100g	95 granos/100g
Humedad	7.5% máx.	7.5% máx.	8.0% máx.
Granos mohosos	2 %	3%	4%
Granos pizarrosos	1%	3%	Ilimitado
Granos violeta	25%	30%	Ilimitado
Granos dañados por insecto	2%	3%	3% máx.
Granos germinados, planos	3%	3%	3% máx.
Granos partidos	1%	1%	3% máx.

Fuente: INTECO 2009.

Cuadro A - 51. Costo de implementación de un método y un fermentador para un proceso de fermentación

Método	Detalle	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$)	Sub Total (\$)	Total (\$)
Con presecado	Caja 1m ³	3	Unidad	430.00	1290.00	1438.42
	Personal	16	Jornada diaria	8.22	131.52	
	Sacos	5	Unidad	2.43	12.15	
	Plástico	5	Yarda	0.95	4.75	
	Sacos	45	Unidad	1.87	84.15	273.77
	Personal	16	Jornada diaria	8.22	131.52	
	Sacos	20	Unidad	2.43	48.60	
	Plástico	10	Yarda	0.95	9.50	
Sin presecado	Caja 1m ³	3	Unidad	430.00	1290.00	1421.98
	Personal	14	Jornada diaria	8.22	115.08	
	Sacos	5	Unidad	2.43	12.15	
	Plástico	5	Yarda	0.95	4.75	
	Sacos	45	Unidad	1.87	84.15	257.33
	Personal	14	Jornada diaria	8.22	115.08	
	Sacos	20	Unidad	2.43	48.60	
	Plástico	10	Yarda	0.95	9.50	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A - 52. Proyección de costo de aplicación de un método y un fermentador

Método	Detalle	Unidad	Precio unitario (\$)	Proyección Para 6 Meses			Proyección Para 1 Año		
				Cantidad	Sub Total (\$)	Total (\$)	Cantidad	Sub Total (\$)	Total (\$)
Con presecado	Caja 1m ³	Unidad	430.00	3	1290.00	2885.14	3	1290.00	4480.28
	Personal	Jornada diaria	8.22	192	1578.24		384	3156.48	
	Sacos	Unidad	2.43	5	12.15		10	24.30	
	Plástico	Yarda	0.95	5	4.75		10	9.50	
	Sacos	Unidad	1.87	90	168.30	1804.64	180	336.60	3609.28
	Personal	Jornada diaria	8.22	192	1578.24		384	3156.48	
	Sacos	Unidad	2.43	20	48.60		40	97.20	
	Plástico	Yarda	0.95	10	9.50		20	19.00	
Sin presecado	Caja 1m ³	Unidad	430.00	3	1290.00	2687.86	3	1290.00	4085.72
	Personal	Jornada diaria	8.22	168	1380.96		336	2761.92	
	Sacos	Unidad	2.43	5	12.15		10	24.30	
	Plástico	Yarda	0.95	5	4.75		10	9.50	
	Sacos	Unidad	1.87	90	168.30	1607.36	180	336.60	3214.72
	Personal	Jornada diaria	8.22	168	1380.96		336	2761.92	
	Sacos	Unidad	2.43	20	48.60		40	97.20	
	Plástico	Yarda	0.95	10	9.50		20	19.00	

Fuente: Elaboración propia.

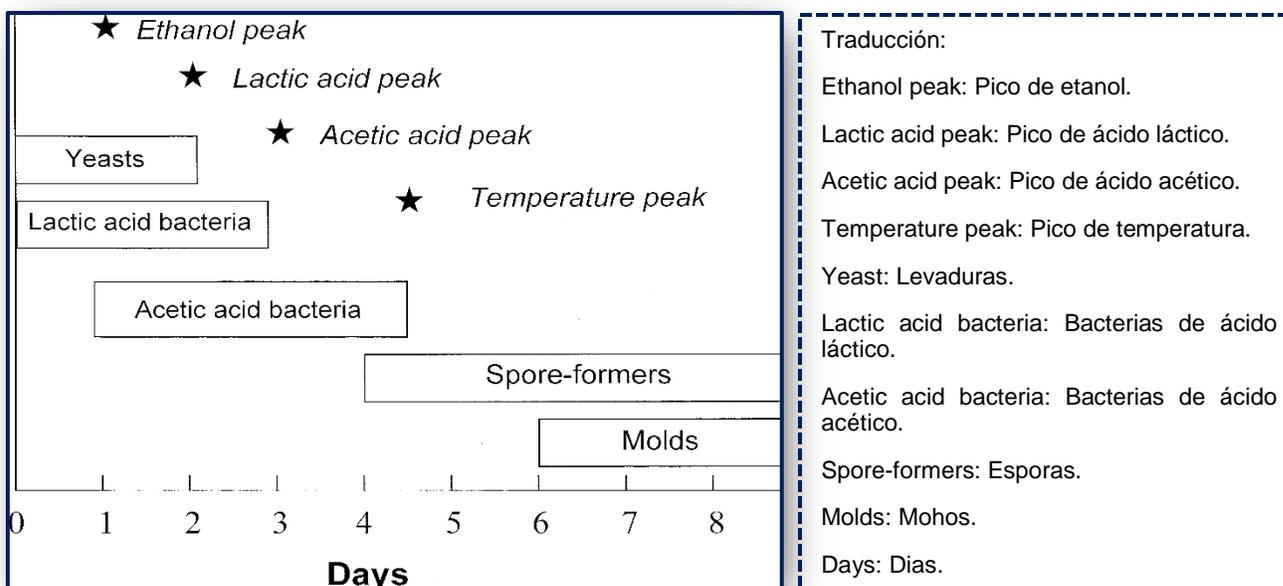


Figura A - 1. Sucesión microbiana durante la fermentación de granos de cacao. Fuente: Schwan y Wheals (2004).

Tipo	Días de fermentación	Frecuencia de volteos
 <p style="text-align: center;">Criollo</p>	3 a 4 días	<p>1^{er} volteo a las 24 horas(1^{er} día)</p> <p>2^{do} volteo a las 48 horas(2^{do} día)</p> <p>Inicio de secado a las 72 horas(3^{er} día)</p>
 <p style="text-align: center;">Trinitario</p>	4 a 6 días	<p>1^{er} volteo a las 24 horas(1^{er} día)</p> <p>2^{do} volteo a las 72 horas.....(3^{er} día)</p> <p>3^{er} volteo a las 120 horas.....(5^{to} día)</p> <p>Inicio de secado a las 144 horas....(6^{to} día)</p>
 <p style="text-align: center;">Forastero</p>	7 días 8 días	<p>1^{er} volteo a las 24 horas(1^{er} día)</p> <p>2^{vo} volteo a las 72 horas.....(3^{er} día)</p> <p>3^{er} volteo a las 120 horas.....(5^{to} día)</p> <p>Inicio de secado a las 168 horas...(7^{mo} día)</p> <p>1^{er} volteo a las 24 horas(1^{er} día)</p> <p>2^{do} volteo a las 72 horas.....(3^{er} día)</p> <p>3^{er} volteo a las 120 horas.....(5^{to} día)</p> <p>4^{to} volteo a las 168 horas.....(7^{mo} día)</p> <p>Inicio de secado a las 192 horas....(8^{vo} día)</p>

Protocolo de secado para todos los tipos de cacao

Extender las almendras de cacao fermentadas sobre camas de madera en capas no mayores de 3cm de espesor, considerando que en un metro cuadrado de patio de secado se pueden colocar 20 kg de cacao en baba. Remover las almendras con implementos de madera cada hora. El secado debe ser gradual y comenzar a primeras horas de la mañana (8:30 am). Su duración puede variar dependiendo de las condiciones climáticas de la zona y su exposición al sol se debe realizar de la siguiente forma :

Primer día2 horas
 Segundo día2 a 3 horas
 Tercer día3 a 4 horas
 Cuarto día4 a 5 horas
 Quinto díatodo el día

Proteger las almendras de la humedad y las lluvias.

Figura A - 2. Protocolo de fermentación para cacao. Fuente: Ramos (2017).



Figura A - 3. Clasificación de calidad de los granos de cacao. Fuente: Saavedra 2012

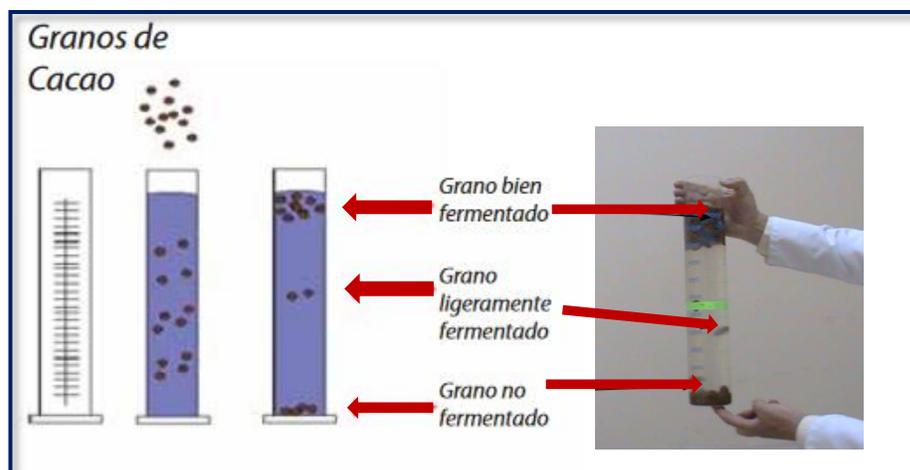


Figura A - 4. Prueba de agua en cacao. Fuente: Bravo y Mingo (2011).

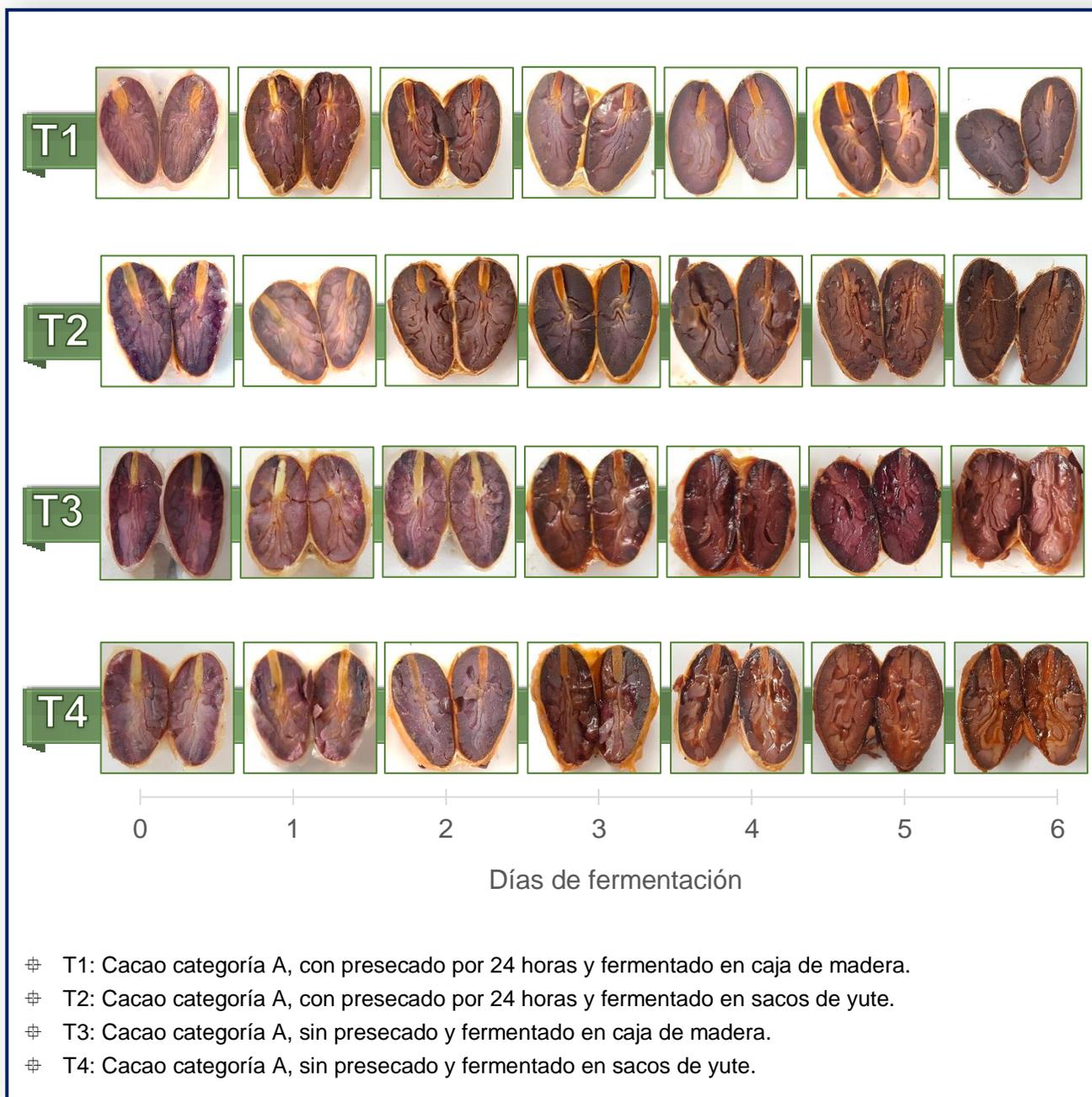


Figura A - 5. Cambios del grano de cacao categoría A durante el proceso de fermentación

Fuente: Elaboración propia.

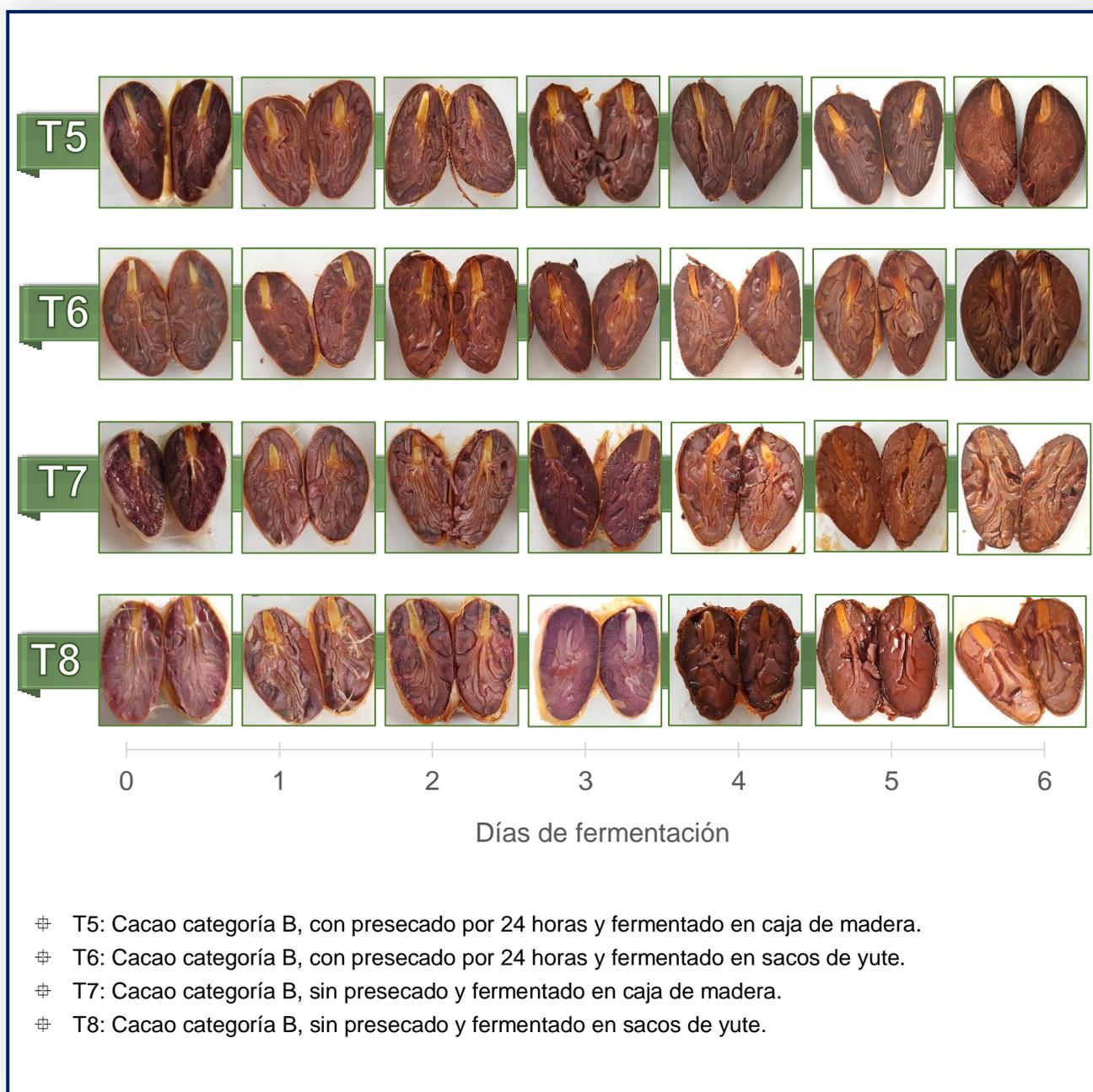


Figura A - 6. Cambios del grano de cacao categoría B durante el proceso de fermentación

Fuente: Elaboración propia.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA		 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA																																																																																																																
RESULTADO DE ANÁLISIS	/ 2																																																																																																																
Fecha:	Ciudad Universitaria, 19 de septiembre de 2016																																																																																																																	
Fecha de ingreso:	11/ 08/16; 18/08/18 y 22/08/ 16																																																																																																																	
Tipo de Muestra:	Semilla de Cacao																																																																																																																	
Análisis solicitado:	Grasa, Proteína y Ceniza																																																																																																																	
Usuario:	Br. Israel Andrés Steinau Dueñas																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Proteína Cruda %</th> <th>Ceniza %</th> <th>Extracto Etéreo %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>143</td><td>18.06</td><td>4.41</td><td>40.04</td></tr> <tr><td>144</td><td>17.37</td><td>4.91</td><td>38.65</td></tr> <tr><td>145</td><td>17.79</td><td>4.70</td><td>37.59</td></tr> <tr><td>146</td><td>17.69</td><td>4.21</td><td>36.48</td></tr> <tr><td>147</td><td>17.50</td><td>4.26</td><td>30.85</td></tr> <tr><td>148</td><td>18.04</td><td>4.06</td><td>42.10</td></tr> <tr><td>149</td><td>17.58</td><td>4.42</td><td>43.12</td></tr> <tr><td>150</td><td>18.00</td><td>4.30</td><td>38.59</td></tr> <tr><td>151</td><td>17.54</td><td>4.23</td><td>37.41</td></tr> <tr><td>152</td><td>17.94</td><td>4.04</td><td>41.89</td></tr> <tr><td>186</td><td>16.82</td><td>3.38</td><td>36.50</td></tr> <tr><td>187</td><td>16.34</td><td>3.60</td><td>37.33</td></tr> <tr><td>188</td><td>17.69</td><td>3.22</td><td>37.33</td></tr> <tr><td>189</td><td>19.67</td><td>3.58</td><td>39.26</td></tr> <tr><td>190</td><td>17.76</td><td>3.17</td><td>44.48</td></tr> <tr><td>191</td><td>17.13</td><td>3.24</td><td>40.28</td></tr> <tr><td>192</td><td>17.85</td><td>3.78</td><td>39.48</td></tr> <tr><td>193</td><td>16.66</td><td>3.43</td><td>37.14</td></tr> </tbody> </table>	No.	Proteína Cruda %	Ceniza %	Extracto Etéreo %	143	18.06	4.41	40.04	144	17.37	4.91	38.65	145	17.79	4.70	37.59	146	17.69	4.21	36.48	147	17.50	4.26	30.85	148	18.04	4.06	42.10	149	17.58	4.42	43.12	150	18.00	4.30	38.59	151	17.54	4.23	37.41	152	17.94	4.04	41.89	186	16.82	3.38	36.50	187	16.34	3.60	37.33	188	17.69	3.22	37.33	189	19.67	3.58	39.26	190	17.76	3.17	44.48	191	17.13	3.24	40.28	192	17.85	3.78	39.48	193	16.66	3.43	37.14	<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Proteína Cruda %</th> <th>Ceniza %</th> <th>Extracto Etéreo %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>202</td><td>18.39</td><td>3.77</td><td>45.96</td></tr> <tr><td>203</td><td>17.14</td><td>3.08</td><td>44.69</td></tr> <tr><td>204</td><td>16.81</td><td>3.00</td><td>45.03</td></tr> <tr><td>205</td><td>16.95</td><td>4.17</td><td>39.15</td></tr> <tr><td>206</td><td>17.04</td><td>4.01</td><td>42.07</td></tr> <tr><td>207</td><td>16.69</td><td>3.49</td><td>39.78</td></tr> <tr><td>209</td><td>18.96</td><td>4.69</td><td>47.25</td></tr> <tr><td>210</td><td>18.96</td><td>4.67</td><td>48.75</td></tr> </tbody> </table>	No.	Proteína Cruda %	Ceniza %	Extracto Etéreo %	202	18.39	3.77	45.96	203	17.14	3.08	44.69	204	16.81	3.00	45.03	205	16.95	4.17	39.15	206	17.04	4.01	42.07	207	16.69	3.49	39.78	209	18.96	4.69	47.25	210	18.96	4.67	48.75	<p>Analista: Lic. Mario Antonio Hernández Melgar Lic. Freddy Alexander Carranza Estrada</p> <p>Atentamente,</p> <p style="text-align: center;"> "HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"   Ing. Agr. Oscar Mauricio Carrillo Turcios Jefe del Departamento de Química Agrícola </p>
No.	Proteína Cruda %	Ceniza %	Extracto Etéreo %																																																																																																															
143	18.06	4.41	40.04																																																																																																															
144	17.37	4.91	38.65																																																																																																															
145	17.79	4.70	37.59																																																																																																															
146	17.69	4.21	36.48																																																																																																															
147	17.50	4.26	30.85																																																																																																															
148	18.04	4.06	42.10																																																																																																															
149	17.58	4.42	43.12																																																																																																															
150	18.00	4.30	38.59																																																																																																															
151	17.54	4.23	37.41																																																																																																															
152	17.94	4.04	41.89																																																																																																															
186	16.82	3.38	36.50																																																																																																															
187	16.34	3.60	37.33																																																																																																															
188	17.69	3.22	37.33																																																																																																															
189	19.67	3.58	39.26																																																																																																															
190	17.76	3.17	44.48																																																																																																															
191	17.13	3.24	40.28																																																																																																															
192	17.85	3.78	39.48																																																																																																															
193	16.66	3.43	37.14																																																																																																															
No.	Proteína Cruda %	Ceniza %	Extracto Etéreo %																																																																																																															
202	18.39	3.77	45.96																																																																																																															
203	17.14	3.08	44.69																																																																																																															
204	16.81	3.00	45.03																																																																																																															
205	16.95	4.17	39.15																																																																																																															
206	17.04	4.01	42.07																																																																																																															
207	16.69	3.49	39.78																																																																																																															
209	18.96	4.69	47.25																																																																																																															
210	18.96	4.67	48.75																																																																																																															
Final 25 Av. Norte, Ciudad Universitaria. Tel.: 2225-1506 y 2226-2043		Final 25 Av. Norte, Ciudad Universitaria. Tel.: 2225-1506 y 2226-2043																																																																																																																

Figura A - 7. Resultados de análisis de grasa, proteína y ceniza