



**Identificación de los factores fisicoquímicos y microbiológicos del proceso de  
postcosecha y su incidencia en la calidad del chocolate**

Gualoto Señalín, Erika Alexandra y Matamoros Loor, Genesis Mabel

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de ingeniería en Agropecuaria

Ph.D. Neira Mosquera, Juan Alejandro

1 de marzo de 2023

## Reporte de verificación de contenido



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

### TRABAJO MIC-ERIKA-GENESIS PDF

**4%** Similitudes

**< 1%** Texto entre comillas  
0% similitudes entre comillas  
0% idioma no reconocido

**Nombre del documento:** TRABAJO MIC-ERIKA-GENESIS PDF.pdf

**ID del documento:** 0b1cb5b0542d8e0854f0f68754683e908bcc961d

**Tamaño del documento original:** 2,38 Mo

**Depositante:** FREDDY GERMÁN ENRIQUEZ JARAMILLO

**Fecha de depósito:** 28/2/2023

**Tipo de carga:** interface

**fecha de fin de análisis:** 28/2/2023

**Número de palabras:** 24.857

**Número de caracteres:** 179.654

Ubicación de las similitudes en el documento:



#### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <b>Tesis_Proaño_Saavedra_202251.pdf</b>   Tesis_Proaño_Saavedra_202251 #2a4732 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (60 palabras)
2	 <b>Trabajo de Integración Curricular_Ramirez Genecys.pdf</b>   Trabajo de Integr... #6a4982 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (25 palabras)
3	 <b>repositorio.espe.edu.ec</b>   Aislamiento e identificación de microorganismos probiótic... http://repositorio.espe.edu.ec/8080/bitstream/21900/26616/5/T-ESPESD-060187.pdf.txt 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (38 palabras)
4	 <b>repositorio.espe.edu.ec</b>   Estudio del proceso de obtención de chocolate a partir del... http://repositorio.espe.edu.ec/8080/bitstream/21900/26016/5/T-ESPESD-060169.pdf.txt 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (33 palabras)
5	 <b>diainet.unirioja.es</b>   Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenol... https://diainet.unirioja.es/revistas/laart/codigo=8383027 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (38 palabras)

#### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <b>editorial.ucsg.edu.ec</b>   Métodos de fermentación del cacao nacional (theobroma cac... https://editorial.ucsg.edu.ec/otg-alternativas/index.php/tematicas-ucsg/article/view/3399	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (32 palabras)
2	 <b>localhost</b>   Desarrollo de una barra de chocolate negro endulzado con azúcar de coc... http://localhost:8080/vmka/bitstream/2031717973/1/T-UCSG-P8B-TEC-CA-90.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (31 palabras)
3	 <b>localhost</b>   Desarrollo de un Nuevo Sustrato para la Fermentación de Cacao (Theobr... http://localhost:8080/vmka/bitstream/redag/28926/3/Tesis-Meza Leon y Estacio Leon.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (20 palabras)
4	 <b>www.ecured.cu</b>   Cacao - EcuRed https://www.ecured.cu/Cacao	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (12 palabras)
5	 <b>bibliotecadigital.odal.com</b>   Existencias: Capacidad probiótica de levaduras y bact... https://bibliotecadigital.odal.com/Record/ir-10554-58283	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (19 palabras)

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1  <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021017977#bib5>
- 2  <https://bit.ly/2tFra8>
- 3  <https://bit.ly/2RretDIM>
- 4  <https://grandsur.com/encocao-variety>
- 5  <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/inormas/623.pdf>



Firmado electrónicamente por:  
**JUAN ALEJANDRO**  
**NEIRA MOSQUERA**

**PhD. Neira Mosquera Juan Alejandro**  
CI:0501644470



**Departamento de ciencias de la Vida y Agropecuaria  
Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de integración curricular, “**Identificación de los factores Físicoquímicos y microbiológicos del proceso de Postcosecha y su incidencia en la calidad del chocolate**” fue realizado por las señoritas **Gualoto Siñalin, Erika Alexandra y Matamoros Loor, Genesis Mabel** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Santo Domingo de los Tsáchilas, 1 de marzo de 2023**



---

**PhD. Neira Mosquera Juan Alejandro**  
CI:0501644470



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Departamento de ciencias de la Vida y Agropecuaria**

**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotras, Gualoto Siñalín, Erika Alexandra y Matamoros Loor, Genesis Mabel, con cédulas de ciudadanía n° 1727151977 y 1717771065, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Identificación de los factores Físicoquímicos y microbiológicos del proceso de Postcosecha y su incidencia en la calidad del chocolate"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciado citas bibliográficas.

**Santo Domingo de los Tsáchilas, 1 de marzo de 2023**

Firma:

Gualoto Siñalín, Erika Alexandra

Ci: 1727151977

Firma:

Matamoros Loor, Genesis Mabel

Ci: 1717771065



Departamento de ciencias de la Vida y Agropecuaria

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotras, Gualoto Siñalín, Erika Alexandra y Matamoros Loor, Genesis Mabel, con cédulas de ciudadanía n° 1727151977 y 1717771065, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "**Identificación de los factores Físicoquímicos y microbiológicos del proceso de Postcosecha y su Incidencia en la calidad del chocolate**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, Ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 1 de marzo de 2023

Firma:



Gualoto Siñalín, Erika Alexandra

CI: 1727151977

Firma:



Matamoros Loor, Genesis Mabel

CI: 1717771065

## Dedicatoria

Me gustaría dedicar este logro a toda mi familia.

Para mi madre y mi padre por su comprensión y ayuda en mis buenos y malos momentos, por enseñarme a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento, por darme todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A ellos por darme la vida, a mis hermanos Mercedes y Danny por siempre creer en mí, a mi esposo Henry por su apoyo y la felicidad compartida.

A Fernando Orejuela, Génesis Matamoros, a mis amigos y compañeros de universidad por los buenos momentos, las aventuras, madrugadas y el sin número de historias que pudimos vivir en la facultad de Ingeniería Agropecuaria, los respeto y considero con mucho cariño.

Finalmente, a la gente de mi Pachamama y a todos quienes un día soñamos con culminar nuestros estudios universitarios.

Erika Alexandra Gualoto Siñalín

Dedico este trabajo primeramente a Dios por siempre escucharme, a mis padres Vicenta Loor y Donato Matamoros por ser las personas que a medida del tiempo me dieron el apoyo necesario para lograr esta meta e inculcarme los valores que hoy en día han marcado mi vida y he aplicado en ella.

A mi amiga Nathaly, a quien conocí en mis primeros semestres de universidad de quién estoy orgullosa y espero igualmente ella, se sienta orgullosa de mí al verme culminar esta travesía y por su confianza que depositó en mí.

A mis amigos Jessica y Cristian que fueron mi base en mis últimos semestres de universidad, quienes se mantuvieron a mi lado en mis momentos de dificultad y se convirtieron en mis personas más preciadas, a quienes extrañaré por esos momentos únicos que convivimos.

A mi compañera y amiga de proyecto Erika Gualoto con quien mantuve una gran relación de amistad en toda esta planificación y que con su apoyo llevamos a la culminación de este gran proyecto.

Génesis Mabel Matamoros Loor

## Agradecimiento

Quiero agradecer a mis padres, hermanos y mi compañero de vida por su apoyo y cariño incondicional para mí durante estos años de estudios para finalizar esta ingeniería.

Gracias a mi compañera de tesis, que más que ser una compañera fue una luchadora a lo largo de esta investigación, gracias por tu paciencia, tu comunicación y compañerismo para finalizar con éxito nuestra tesis.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a mis docentes investigadores: Dr. Juan Alejandro Neira, Dra. Sungey Naynee Sánchez e Ing. Jhoan Alfredo Plua por sus importantes aportes y participación en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, la motivación recibida para apasionarnos por nuestra investigación.

A mi alma mater la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y la carrera de Ingeniería Agropecuaria Santo Domingo por hacer mi vida universitaria una experiencia llena de ciencia, convivencias y momentos inolvidables.

¡De corazón gracias por tanto!

Erika Alexandra Gualoto Siñalín

Agradezco a Dios por darme unos padres increíbles, que a pesar de tener una hija que les ha dado un poco de dolor de cabeza se mantuvieron firmes y que eso me ha llevado a culminar mi objetivo, a mi hermano menor por ser la persona que me inspira cada día y que siempre da su alegría a los demás.

No pueden faltar mis agradecimientos a mis ingenieros e ingenieras, a mi tutor de proyecto y aquellos participantes de la investigación. Quedo agradecida con mi universidad por ser una gran institución por permitirme desarrollarme a nivel profesional y expandir mis conocimientos el cual me ayudará en la vida laboral y social.

Génesis Mabel Matamoros Loor

## Índice de contenidos

Caratula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento.....	8
Índice de contenidos.....	10
Lista de figuras.....	17
Lista de tablas.....	18
Lista de abreviaturas .....	20
Resumen.....	21
Abstract.....	22
Capítulo I.....	23
Introducción.....	23
Objetivos .....	27
Objetivo general .....	27
Objetivos específicos .....	27
Hipótesis .....	28
Factor A: Variedades de Cacao (Nacional y CCN-51).....	28
Ho.....	28
Ha.....	28
Factor B: Proceso de fermentación (Yute, Cascada y controlada/ microorganismos).....	28
Ho.....	28
Ha.....	28
Factor C: Proceso de secado (Secado y ambiente).....	28

Ho.....	28
Ha.....	28
Factor A (Variedades de cacao) x Factor B (tipo de fermentación) x Factor C (método de secado).....	28
Ho.....	28
Ha.....	29
Capítulo II.....	30
Revisión de literatura .....	30
Generalidades .....	30
Cacao (Theobroma cacao) .....	31
Granos de cacao.....	31
Taxonomía.....	31
Descripción botánica.....	32
Composición química de la semilla de cacao .....	33
Morfología de la planta de cacao.....	33
Hojas.....	34
Flores.....	34
Fruto.....	34
Especies de cacao .....	35
Cacao Nacional. ....	35
Cacao CCN-51. ....	36
Manipulación del grano de cacao para la obtención de pasta de cacao.....	38
Condiciones ambientales para la plantación de cacao .....	38
Temperatura.....	38
Pluviosidad/precipitación.....	39
Luminosidad.....	39
Humedad relativa.....	39

	12
Viento.....	40
Calidad del chocolate.....	42
Proceso de cosecha y postcosecha.....	42
Manipulación de la semilla de cacao.....	43
Proceso de fermentación.....	43
Factores de estrés ambiental que influyen en el crecimiento y las interacciones microbianas .....	44
Competencia por los nutrientes.....	44
El sustrato como factor de estrés.....	45
Tipos de fermentación.....	45
Fermentación en sacos de yute.....	46
Fermentación en cascada.....	46
Fermentación en cajones.....	46
Fermentación controlada.....	47
Tiempo de fermentación.....	47
Microbiología y bioquímica de la fermentación.....	48
Anaeróbica.....	48
Levaduras.....	49
BAL.....	49
Aeróbica.....	50
BAA.....	50
Indicadores de un buen proceso de fermentación.....	51
El secado.....	52
Secado natural.....	52
Secado artificial.....	52
Almacenamiento.....	52
Normativa INEM 623 para la pasta de chocolate.....	53

Nota. Información tomada de la NTE INEM 623 .....	53
Análisis bromatológicos .....	53
pH. ....	53
Acidez titulable.....	54
Humedad. ....	54
Ceniza.....	54
Grasa. ....	55
Proteína cruda. ....	55
Análisis microbiológicos.....	55
Capítulo III.....	56
Metodología .....	56
Ubicación del área de estudio.....	56
Ubicación política .....	56
Ubicación geográfica.....	56
Ubicación ecológica.....	57
Materiales.....	58
Manejo procedimental.....	61
Metodología para el proceso fermentativo del cacao.....	61
Muestreo .....	61
Cortado .....	62
Pesado.....	62
Fermentación .....	62
Fermentación en cajones .....	63
Fermentación controlada.....	63
Secado.....	63
Secado al ambiente .....	63
Secado artificial.....	63

Almacenamiento .....	64
Elaboración de la pasta de chocolate .....	64
Clasificación de semillas.....	64
Tostado .....	64
Descascarillado.....	64
Molienda.....	64
Mezcla y amasado.....	64
Refinación .....	64
Conchado.....	65
Moldeado .....	65
Empaquetado.....	65
Almacenamiento .....	65
Elaboración del producto final.....	65
Análisis físicos-químicos .....	65
Determinación de la acidez titulable.....	65
Determinación del pH .....	66
Determinación de la humedad.....	66
Determinación de grasa por método Soxhlet.....	67
Determinación de ceniza .....	68
Determinación de proteína mediante Kjeldahl .....	69
Preparación de la muestra.....	69
Digestión.....	69
Destilación .....	70
Titulación .....	70
Fórmula para el cálculo.....	70
Análisis microbiológico .....	71
Fórmula para el recuento de UFC.....	71

	15
Análisis sensorial.....	71
Diseño experimental .....	73
Coeficiente de variación .....	75
Análisis estadístico .....	75
Factores y niveles.....	76
Capítulo IV .....	79
Resultados .....	79
Resultados de análisis de varianza para las variables dependientes fisicoquímicas del producto final de cacao .....	79
Resultados de análisis de varianza para las variables dependientes del perfil sensorial del producto final de cacao .....	86
Resultados de la influencia de las variedades de cacao nacional y CCN51 (Factor A) sobre las características fisicoquímicas del producto final de cacao.....	92
Resultados a la influencia del tipo de fermentación yute, cascada y controlada (Factor B) sobre las características fisicoquímicas. ....	97
Resultados a la influencia del tipo de secado ambiental y artificial (Factor C) sobre las características fisicoquímicas .....	101
Resultados de la interacción ABC (Variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado).....	105
Resultados obtenidos en el análisis microbiológico de acuerdo con el método de fermentación.....	108
Resultados a la influencia de las variedades de cacao nacional y CCN51 (Factor A) sobre las características sensoriales.....	109
Resultados a la influencia del tipo de fermentación yute, cascada y controlada (Factor B) sobre las características sensoriales.....	110
Resultados a la influencia del tipo de secado ambiental y artificial (Factor C) sobre las características sensoriales.....	111
Resultados del nivel de calidad del análisis sensorial de cacao (aroma, acidez, amargor, astringencia, sabor, pos-gusto).....	112

Resultados de la interacción ABC de los análisis sensoriales del producto final.....	114
Resultados del nivel de intensidad del análisis sensorial de los sabores .....	117
Balance de material .....	118
Capítulo V .....	124
Discusión.....	124
Interpretación de los resultados de las variedades de cacao sobre las características fisicoquímicas .....	124
Interpretación de los resultados del método de fermentación sobre las características fisicoquímicas .....	126
Influencia del método de secado sobre las características fisicoquímicas .....	129
Influencia de la interacción ABC en las características fisicoquímicas .....	130
Influencia del método de fermentación sobre el análisis microbiológico .....	132
Interpretación de la Influencia de la interacción ABC en el perfil sensorial .....	133
Capítulo VI .....	135
Conclusiones.....	135
Recomendaciones .....	136
Capítulo VII .....	138
Bibliografía .....	138

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Cacao nacional.....	36
<b>Figura 2.</b> Cacao CCN-51 .....	37
<b>Figura 3.</b> Manipulación del grano de cacao .....	38
<b>Figura 4.</b> El proceso para la calidad del grano de cacao.....	42
<b>Figura 5.</b> Proceso de la fermentación.....	51
<b>Figura 6.</b> Mapa de ubicación del área de desarrollo del análisis experimental y fermentación controlada .....	57
<b>Figura 7.</b> Resultados de las variables fisicoquímicas obtenidas del factor A (variedad de cacao) .....	93
<b>Figura 8.</b> Influencia del tipo de fermentación (factor B): Yute, cascada y controlada sobre las variables dependientes fisicoquímicas.....	99
<b>Figura 9.</b> Influencia del tipo del secado (factor C): ambiental y artificial sobre las variables dependientes fisicoquímicas .....	102
<b>Figura 10.</b> Interacciones de los tratamientos obtenidos de la diferencia de las medias del producto final de cacao. Tukey $p < 0,05$ .....	105
<b>Figura 11.</b> Análisis sensorial de los tratamientos.....	115
<b>Figura 12.</b> Perfil sensorial del sabor en escala de intensidad .....	117
<b>Figura 13.</b> Balance de material de la fermentación controlada usando cacao CCN-51 .....	118
<b>Figura 14.</b> Balance de material de la fermentación controlada usando cacao nacional .....	119
<b>Figura 15.</b> Balance de la fermentación en cascada usando cacao CCN-51 .....	120
<b>Figura 16.</b> Balance de la fermentación en cascada usando cacao nacional .....	121
<b>Figura 17.</b> Balance de la fermentación en yute usando cacao CCN-51.....	122
<b>Figura 18.</b> Balance de la fermentación en yute usando cacao nacional .....	123

### Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Descripción taxonómica del cacao .....	32
<b>Tabla 2.</b> Tipo de suelo en cultivos de cacao.....	40
<b>Tabla 3.</b> Requisitos de fertilidad del suelo en cultivos de cacao.....	40
<b>Tabla 4.</b> Selección y clasificación de las semillas de cacao .....	41
<b>Tabla 5.</b> Características del grano en baba.....	43
<b>Tabla 6.</b> Mazorcas que afectan la fermentación.....	48
<b>Tabla 7.</b> Normativa sobre los requisitos para la pasta de cacao .....	53
<b>Tabla 8.</b> Requisitos microbiológicos para la pasta de cacao .....	55
<b>Tabla 9.</b> Condiciones geográficas y ecológicas .....	58
<b>Tabla 10.</b> pH.....	58
<b>Tabla 11.</b> Acidez.....	59
<b>Tabla 12.</b> Humedad.....	59
<b>Tabla 13.</b> Ceniza .....	59
<b>Tabla 14.</b> Grasa.....	60
<b>Tabla 15.</b> Proteína.....	60
<b>Tabla 16.</b> Análisis microbiológico.....	61
<b>Tabla 17.</b> Información tomada al rotular los sacos de cacao.....	62
<b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza .....	74
<b>Tabla 19.</b> Factores y niveles .....	76
<b>Tabla 20.</b> Tratamientos .....	77
<b>Tabla 21.</b> Variables para medir.....	78
<b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: pH .....	80
<b>Tabla 23.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: acidez .....	81
<b>Tabla 24.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: grasa.....	82
<b>Tabla 25.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: proteína .....	83
<b>Tabla 26.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: humedad.....	84
<b>Tabla 27.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: ceniza .....	85
<b>Tabla 28.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: índice de semilla.....	86
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: Aroma .....	87
<b>Tabla 30.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: acidez .....	88
<b>Tabla 31.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: amargor .....	89
<b>Tabla 32.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: astringencia .....	90

<b>Tabla 33.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: sabor.....	91
<b>Tabla 34.</b> Análisis de varianza para la variable dependiente: pos gusto .....	92
<b>Tabla 35.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor A (variedad de cacao) .....	93
<b>Tabla 36.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor B (tipo de fermentación) .....	98
<b>Tabla 37.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor C (tipo de secado) .....	101
<b>Tabla 38.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 para la interacción ABC (Variedad de cacao, tipo de fermentación, tipo de secado) .....	104
<b>Tabla 39.</b> Recuento microbiológico en el tipo de fermentación .....	108
<b>Tabla 40.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor A (variedad de cacao) .....	110
<b>Tabla 41.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor B (tipo de fermentación) ...	111
<b>Tabla 42.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor C (tipo de secado) .....	111
<b>Tabla 43.</b> Prueba de significancia de Tukey alfa = 0.05 para la interacción ABC (variedad de cacao, tipo de fermentación, tipo de secado) .....	114

### Lista de abreviaturas

**ATP** Adenosín Trifosfato

**BAA** Bacterias del ácido acético

**BAL** Bacterias del ácido láctico

**CCN51** Colección Castro Naranjal 51

**CO<sub>2</sub>** Dioxido de carbono

**DBCA** Diseño de bloques completos al azar

**ICCO** Organización Internacional de Cocoa

**INEN** El Instituto Ecuatoriano de Normalización

**NADH** Nicotinamida adenina dinucleótido

**NTE** Norma Técnica Ecuatoriana

**pH** Potencial de hidrogeno

**UFC** Unidades formadoras de colonias

## Resumen

El Ecuador se encuentra dentro de los mayores productores de cacao a nivel mundial, teniendo dos de los mejores cacaos del mundo con cuyos subproductos se busca satisfacer la demanda del consumidor hacia productos de calidad con un buen sabor y aroma. Por ello, la presente investigación que se realizó en el recinto “El Limón”, cantón El Empalme, tiene como objetivo identificar los factores fisicoquímicos y microbiológicos del proceso de postcosecha y su incidencia en la calidad del chocolate. Se analizaron las características bromatológicas como pH, acidez, humedad, ceniza, grasa y proteína, así como las características sensoriales del producto de chocolate final considerando dos variedades de cacao (nacional y CCN-51), el tipo de fermentación (cascada, yute y controlada) y el tipo de secado (natural y artificial). Considerando los resultados, el pH del producto final, así como las cenizas no presentaron diferencia entre las variedades de cacao. El cacao nacional tuvo el mayor porcentaje de grasa, proteína y humedad en comparación con el cacao CCN-51 el cual tuvo mayores valores de índice de semilla. Con respecto a las características sensoriales, se encontró que una fermentación controlada usando *Lactiplantibacillus plantarum* otorgo los mejores resultados de calidad en cuanto a aroma, acidez, amargor, astringencia, sabor y pos-gusto. Se concluye que la calidad del chocolate esta influenciado por el proceso postcosecha del grano de cacao, su proceso de fermentación y secado, por lo que se acepta la hipótesis alternativa para el factor A, factor B, factor C y ABC puesto que es decisivo en la obtención de un producto final de alta o baja calidad. También se recomienda emplear la variedad de cacao nacional y una fermentación controlada por cual se deben establecer más investigaciones con cultivos iniciadores de los microorganismos.

*Palabras clave:* cacao nacional, cacao ccn-51, yute, cascada, controlada

## Abstract

Ecuador is among the largest cocoa producers in the world, with two of the best cocoa varieties that are used to meet consumer demand for quality products with good flavor and aroma. This research, conducted in the El Limón community in the El Empalme canton, aims to identify the physicochemical and microbiological factors of the post-harvest process and their impact on chocolate quality. The study analyzed bromatological characteristics such as pH, acidity, moisture, ash, fat, and protein, as well as sensory characteristics of the final chocolate product considering two cocoa varieties (national and CCN-51), fermentation type (cascading, yute, and controlled), and drying method (natural and artificial). Based on the results, the pH and ash content of the final product did not differ significantly between the two cocoa varieties. The national cocoa variety had a higher percentage of fat, protein, and moisture compared to the CCN-51 cocoa variety, which had higher seed index values. In terms of sensory characteristics, a controlled fermentation using *Lactiplantibacillus plantarum* produced the best quality results in terms of aroma, acidity, bitterness, astringency, taste, and aftertaste. The study concludes that chocolate quality is influenced by the post-harvest process of cocoa beans, fermentation, and drying methods, and accepts the alternative hypothesis for factors A, B, C, and ABC as decisive in obtaining a final product of high or low quality. It is also recommended to use the national cocoa variety and a controlled fermentation, and further research with microbial starter cultures is necessary.

Keywords: national cocoa, CCN-51 cocoa, yute fermentation, cascading fermentation, controlled fermentation.

## Capítulo I

### Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta originaria de América del Sur, más precisamente en la cuenca del Amazonas, en las estribaciones andinas orientales, cerca de los límites de Ecuador, Colombia y Perú, (IICA, 1982). Su nombre científico se deriva del griego *Theo*=dios y *broma*= alimento, es decir, “alimento de los dioses”, asimismo la palabra cacao procede del Nahuatl *cacáhua*. Esta planta perenne crece en climas tropicales y húmedos, siendo su origen los nacimientos de los ríos Amazonas y Orinoco, A partir de allí el cacao se extendió a Venezuela, Colombia, Ecuador, México y algunos países de Centroamérica (de Souza, Moreira, Sarmiento & da Costa, 2018). Su esparcimiento a lo largo del río Amazonas originó el cacao de Brasil y las Guayanas, este cacao fue llevado a África, a la isla de Príncipe y San Tomé dispersándose hasta Malasia, Camerún, Costa de Marfil, Ghana y Nigeria.

El cacao es uno de los mercados que cuentan con ventajas comparativas en Ecuador por lo que la creciente demanda de cacao hizo que el país aproveche las condiciones climatológicas favorables, y se dedique a la siembra de la planta. Según la ICCO (2015/2016) la producción mundial de cacao es de 4236 millones de toneladas por año, el 72.5% de estas son producidas por África, el 18% por América Latina y el Caribe, y el 9.4% provienen del Asia y Oceanía. Las semillas del fruto se utilizan principalmente para la producción de chocolate y otros derivados.

Con lo anteriormente mencionado, el auge del cacao en Guayaquil fue producto de la reforma del comercio colonial emprendida por Carlos III en la década de 1770. En Guayaquil el cacao se cultivaba en dos grandes zonas: en las planicies del Guayas (Baba y Babahoyo) y en el litoral sur cerca de Machala. El auge del cacao de la época colonial se puede dividir en tres fases. Entre 1765 y 1780, la producción pasó de 34.000 cargas a 56.000. Este periodo

constituyó sólo un preludio del auge cacaotero. Entre 1780 y 1802, la producción se duplicó pasando de 56.000 a 100.000. Entre 1802 y 1821, el volumen de producción se volvió a duplicar pasando de 100.000 cargas a más de 180.000 (Espinosa, 2010).

La industria y el comercio del cacao ecuatoriano siguió avanzando exitosamente, no obstante, debido a la afección de plagas como la “Escoba de bruja”, *Crinipellis perniciososa* y “Enfermedad de Quevedo”, *Moniliophthora roreri*, la industria sufrió de un importante revés en el año de 1920.

Actualmente, el Ecuador se ubica en el cuarto puesto como productor de cacao a nivel mundial con 300.000 toneladas al año. El 80% de la producción de cacao se da gracias a pequeños productores, donde Guayaquil tiene el 28%, Los Ríos el 23% y Manabí el 13% (EC Pro-Ecuador, 2016), siendo una de las actividades agrarias más representativas generando empleo directo a cerca de 600.000 personas, constituyendo un 4% de la población económicamente activa del país. Esto contribuyó a un aumento del 0.57% del Producto Interno Bruto (PIB) entre los años 2002 y 2011 (El Agro, 2017).

Por las condiciones geográficas, el país es exportador por excelencia del cacao arriba fino y de aroma abarcando el 70% de la producción mundial. La mazorca del cacao nacional es amarilla, posee un sabor y olor único siendo esencial para el exquisito chocolate *gourmet* (Anecao, 2019). El nombre arriba se originó en el boom cacaotero ocurrido en 1870-1930. En 2014, se obtuvo el sello de la denominación de origen (DO), “arriba” registrada en el Instituto Ecuatoriano de Propiedad Intelectual (IEPI) en 2008 (EC IEPI 2019, párr. 2). (Abad, Acuña & Naranjo, 2020).

La producción del cacao se localiza en 23 de las 24 provincias y se lo produce como “cultivo solo”, la mayor producción del cultivo se encuentra en las provincias de la costa: Los ríos, Manabí, Guayas, Esmeraldas y el Oro.

En los últimos años en las provincias de Orellana y Sucumbíos se han incrementado los cultivos, llegando a aproximadamente 20.000 ha de cacao de tipo nacional, estableciéndose como los mayores proveedores de cacao nacional para exportación, últimamente la provincia de Zamora Chinchipe ha ingresado en el mapa productor de cacao Nacional Fino o de aroma.

Finalmente, la variedad de cacao más popular y de calidad, aunque no posee el característico olor del cacao arriba, es el cacao CCN 51 (Colección Castro Naranjal 51) cuyo color es el rojo, siendo este resistente a enfermedades y plagas dando como resultado cosechas productivas de muy buena calidad (Vassallo 2015). También es reconocido para la extracción de productos semielaborados teniendo la mayor producción el licor o pasta con un 46,94%, seguido del polvo 28,34%, seguido la manteca, en menor porcentaje torta y nibs con un 23,36% (Ochoa, 2019).

De acuerdo con estimaciones del MAGAP, 2011 existen alrededor de 521.091 ha, donde aproximadamente el 80% corresponde a la producción de cacao nacional fino de aroma y la otra parte corresponde a CCN51 (del Ecuador, 2015). En el 2015, debido a las lluvias, las flores de los árboles de cacao se cayeron reduciendo sus cultivos en un 30% a 40% en el Oro, mientras que en Los Ríos se vio afectado con un 15% a 20% y al norte del país, en la provincia de Esmeraldas un 20% de los cultivos se vieron afectados (Anecacao, 2015).

La tendencia o la preferencia del consumidor a nivel mundial, es la de consumir alimentos y productos saludables, a nivel de chocolates es comer chocolate negro, donde predominan las altas calidades en sabores y aromas. La calidad actualmente se basa en satisfacer la demanda del cliente por ello el presente estudio tiene como fin proponer un índice de calidad del cacao, para tener un mejor panorama sobre las variables que afectan la calidad del cacao lo que permitirá a los empresarios mejorar su producto. El Ecuador tiene dos de los mejores cacaos del mundo, por una parte, el reconocido cacao "Arriba", indispensable en los mejores chocolates y el CCN51 por su alto contenido de grasa. Siempre se tiene en mente un

control genuino de la calidad del producto, buscando el mejoramiento impulsado prácticas de control de contaminantes y mezclas entre ambas variedades las cuales resultan perjudiciales.

Por ello el objetivo del presente estudio es la identificación de los factores fisicoquímicos y microbiológicos del proceso de postcosecha y su incidencia en la calidad del chocolate realizando análisis en las características deseadas conocidas en la pasta de cacao como acidez total, humedad, ceniza, grasa y proteína cruda.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Identificar los factores fisicoquímicos y microbiológicos del proceso de postcosecha y su incidencia en la calidad del chocolate

### **Objetivos específicos**

Estudiar los factores fisicoquímicos y microbiológicos de dos variedades de cacao (Nacional y CCN – 51) y su influencia en la obtención del chocolate.

Determinar cómo influye el proceso de fermentación (Yute, cascada y controlada/microorganismos), en las características fisicoquímicas y microbiológicas del chocolate.

Determinar el efecto del proceso de secado (secadora y ambiente) del cacao y su influencia en la obtención del chocolate.

Establecer pruebas organolépticas/sensoriales para determinar de qué forma influyen cada uno de los factores en la calidad del chocolate.

## Hipótesis

### **Factor A: Variedades de Cacao (Nacional y CCN-51)**

**Ho.** Las dos variedades de cacao (Nacional y CCN-51) no influyen en las características fisicoquímicas, microbiológicas y en el perfil sensorial del chocolate.

**Ha.** Las dos variedades de cacao (Nacional y CCN-51) influyen en las características fisicoquímicas, microbiológicas y en el perfil sensorial del chocolate.

### **Factor B: Proceso de fermentación (Yute, Cascada y controlada/ microorganismos)**

**Ho.** El tipo de fermentación (Yute, Cascada y controlada) no influye en las características fisicoquímicas, microbiológicas y en el perfil sensorial del chocolate.

**Ha.** El tipo de fermentación (Yute, Cascada y controlada) influye en las características fisicoquímicas, microbiológicas y en el perfil sensorial del chocolate.

### **Factor C: Proceso de secado (Secado y ambiente)**

**Ho.** El proceso de secado al ambiente y artificial no influye en las características fisicoquímicas, microbiológicas y en el perfil sensorial del chocolate.

**Ha.** El proceso de secado al ambiente y artificial influye en las características fisicoquímicas, microbiológicas y en el perfil sensorial del chocolate.

### **Factor A (Variedades de cacao) x Factor B (tipo de fermentación) x Factor C (método de secado)**

**Ho.** Las variedades de cacao, el proceso de fermentación y secado no influyen en las características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas/sensoriales en la calidad del chocolate.

**Ha.** Las variedades de cacao, el proceso de fermentación y secado influyen en las características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas/sensoriales en la calidad del chocolate.

## Capítulo II

### Revisión de literatura

#### Generalidades

El cacao (*Theobroma cacao L.*), perteneciente a la familia Malvaceae, es un árbol de características tropicales, el cual forma parte de la biodiversidad de la región amazónica, específicamente donde ríos Orinoco y Amazonas desembocan hacia la vertiente atlántica de los Andes (Whitlock et al., 2001).

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (2001), se han determinado tres regiones o zonas características de cultivo de cacao en el Ecuador, estas son el norte, el centro y finalmente el sur, las cuales fueron establecidos según las diferentes condiciones geográficas, climáticas y agrícolas que estas poseen. La región norte comprende las provincias de Esmeraldas, Manabí, el piedemonte occidental de los Andes en las provincias de Pichincha y Cotopaxi; Esta zona tiene una composición de suelo predominantemente volcánica, la precipitación promedio es de 2.000 mm/año, concentrándose en la temporada de lluvias de diciembre a abril. La región central comprende la parte norte de la cuenca del Guayas y la provincia de Los Ríos, con suelos fértiles y profundos, la precipitación media es de 1.000 mm anuales, principalmente de diciembre a julio.

El cacao que se produce en esta región se conoce comercialmente como 'arriba' y tiene unas de las mejores propiedades organolépticas del mundo. La sección sur de la provincia del Guayas, junto con la provincia del Oro integran la zona sur, aquí ocurren de 500 a 1000 milímetros de precipitación pluvial al año, además de recalcar que sus suelos cuentan con características apreciadas u óptimas para el cultivo del cacao. Las condiciones climáticas en esta zona son menos favorables para el desarrollo de enfermedades. Asimismo, de las áreas

típicas de cultivo de cacao mencionadas anteriormente, las plantaciones de este producto se encuentran en las estribaciones de la Cordillera Occidental en las provincias de Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y en toda la región amazónica.

### **Cacao (*Theobroma cacao*)**

El cacao se origina en las regiones de selva tropical de América tropical desde Perú hasta México. El cacao tiene alrededor del 80% de su constitución en la corteza y el 20% restante incluye semillas, pulpa y otros constituyentes. El principal uso del cacao es en la producción de chocolate, no obstante, no se limita únicamente a ella, puesto que otras industrias alejadas de la producción alimentaria, como la cosmética, también emplea al cacao como la materia prima de mucho de sus productos. En la industria del chocolate, el proceso comienza con la recolección de la fruta, la eliminación de la pulpa y las semillas, la fermentación (una serie de reacciones que permiten que el chocolate posea ese aroma y sabor característico), seguido del secado y finalmente del tostado. Los principales subproductos son la corteza, la pulpa y la “miel de cacao” (de Souza, Moreira, Sarmento & da Costa, 2018).

### **Granos de cacao**

Semillas del fruto del árbol *Theobroma cacao* L., el grano de cacao después de la fermentación y seco se lo denomina “cacao beneficiado”.

### **Taxonomía**

Universal Taxonomic Services (2008) ubica a la planta de cacao dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

**Tabla 1***Descripción taxonómica del cacao*

<b>Clasificación taxonómica</b>	
<b>Dominio:</b>	Eukaryota
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>Filo:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase:</b>	Dilleniidae
<b>Orden:</b>	Malvales
<b>Familia:</b>	Malvaceae
<b>Tribu:</b>	Theobromeae
<b>Género:</b>	<i>Theobroma L.</i>
<b>Especie:</b>	<i>Cacao</i>
<b>Nombre científico:</b>	<i>Theobroma cacao</i>

*Nota.* Obtenido de Universal Taxonomic Services (2008).

### **Descripción botánica**

El árbol de cacao puede alcanzar una altura de 10m. Los botones florales se producen en viejas axilas foliares, en el tronco y en sus ramas (caulifloria). Puede florecer durante todo el año, siempre que en el curso del año no existan períodos de sequía prolongados o variaciones de temperatura muy marcadas. De cinco a seis meses es lo que toma que la fruta en forma de baya complete su desarrollo a partir de las flores. La época lluviosa marca el comienzo del desarrollo floral, las cuales son polinizadas gracias al trabajo de diversos insectos. La forma de la fruta del cacao es similar a la del pepino, tiene aproximadamente 25 cm de largo, de 8 a 10 cm de diámetro y pesa entre 300 y 400 g. La cáscara carnosa de 20 mm de espesor recubre

una pulpa gelatinosa agridulce con un alto contenido de azúcar. El fruto contiene en su interior no menos de 25 semillas y hasta 50, las cuales poseen como características una complexión almendrada, una disposición de cinco a ocho filas oblongas, además de un notable amargor en su sabor (Egas, 2010).

### **Composición química de la semilla de cacao**

Las propiedades físicas y químicas del grano de cacao son muy complejas y cambian constantemente según el procesamiento del grano de cacao y su origen. El componente principal de los granos de cacao es la parte lipídica, que representa alrededor del 50%, compuesta principalmente de lípidos neutros, y las moléculas de triglicéridos constituyen la parte principal.

La fracción proteica representa del 10% al 15% de la masa seca del grano de cacao y consiste en 52% y 43% de fracciones de albúmina y globulina, respectivamente. Otras proteínas como gluteninas y prolaminas estuvieron presentes en concentraciones más bajas. Los granos de cacao contienen estimulantes como la teobromina, la cafeína y la teofilina, conocidos como alcaloides de purina, que afectan el sistema nervioso central. También se han informado varios compuestos bioactivos con efectos vasoactivos en los granos de cacao (Bertazzo et al., 2013).

### **Morfología de la planta de cacao**

El árbol del cacao es un arbusto o árbol pequeño, de color verde, perteneciente a la familia de las malváceas que crece únicamente en las regiones cálidas de América tropical. Sus frutos son grandes, de color amarillo o rojo, con mucílago o pulpa dulce alrededor de las semillas, secos y transformados en chocolate, rico en alcaloides de teobromina (Dostert et al., 2012).

Su propagación es a partir de semillas, acodo aéreo o injerto, (Dostert et al.,2012).

### ***Hojas.***

Las hojas jóvenes son de color verde claro o rojo y se vuelven de color verde oscuro cuando maduran. El color de las hojas en la parte superior del árbol a menudo es diferente del color de las hojas que crecen en la base del árbol. La mayoría de las hojas de cacao terminan en una punta afilada llamada “punta de gota” (Dostert et al., 2012).

### ***Flores.***

Los racimos de flores crecen a partir de pequeñas almohadillas en el árbol en el tronco principal (succión) y ramas viejas en forma de abanico sin hojas. Cuando el árbol tiene al menos dos o tres años, las flores son primero pequeños capullos y luego se abren. Las flores abiertas tienen cinco sépalos rosados largos conectados en la base, mientras que la parte superior es larga y puntiaguda. Los cinco pétalos de color amarillo pálido tienen una forma inusual. Los pétalos son estrechos en la base. Las flores crecen de las almohadillas en la madera de los tallos principales y las ramas en forma de abanico que tienen al menos 2 o 3 años. Solo el 1-5% de las flores se polinizan con éxito y forman vainas. Los insectos polinizadores son principalmente pequeños mosquitos como *Forcipomyia* y otros insectos pequeños que requieren un hábitat fresco, oscuro y húmedo y se reproducen en la vegetación en descomposición. Las flores se polinizan cuando los mosquitos transportan el polen masculino a los estigmas femeninos. La fecundación ocurre cuando los granos de polen se desarrollan en el ovario. Solo una de cada 500 flores se convertirá en un fruto. Muchas flores fertilizadas caen del árbol (Dostert et al., 2012).

### ***Fruto.***

Incluso cuando una flor se convierte en una fruta, las frutas jóvenes a menudo se marchitan y caen del árbol cuando solo tienen 7 u 8 semanas. La falta de alimentos vegetales

puede causar esto. Aunque solo se polinizan unas pocas flores, el árbol produce demasiados frutos para llevarlos a la madurez. El cacao tiene un mecanismo de adelgazamiento de la fruta en el que la fruta joven, llamada cherelles, deja de crecer, se vuelve negra y se marchita, pero no se cae del árbol. Esto se llama marchitez de cherrille y puede confundirse con una enfermedad, pero no es una enfermedad, es natural. Las vainas restantes tardan de 5 a 6 meses en madurar después de la polinización. Las vainas maduras tampoco se abren solas ni se caen del árbol.

## **Especies de cacao**

### ***Cacao Nacional.***

Es el cacao cultivado predominante en Ecuador conocido como "Arriba", forma una especie de transición a los criollos, ya que su drupa es grande y está más profundamente surcada, es rugosa y en la base ligeramente estrangulada, grano más redondo y de planta vigorosa pero susceptible a *Crinipellis pernicioso* (Escoba de Bruja) y *Moniliophthora roreri* (Monilla).

Entre los países que aún cultivan con éxito el cacao tipo "Criollo" en América se encuentra Ecuador (variedad Nacional o Arriba), además de que estos poseen características que lo diferencian de los forasteros, tales como el tipo de mazorca, el color y apariencia de la semilla, así como la calidad y el aroma que se consigue con su fermentación que puede tomar un día. (Quiroz & Soria, 1994).

**Figura 1**

*Cacao nacional*



*Nota.* Fotografía tomada por el autor de la tesis.

***Cacao CCN-51.***

Por la falta de políticas en el control de enfermedades causada por hongos parásitos que atacan a la mazorca, como *Crinipellis pernicioso* “Escoba de bruja” o *Moniliophthora roreri* “Vaina Helada o Monilla” en el año de 1915 Monilla destruyó el 70% del cultivo de cacao nacional, hundiendo al Ecuador en la mayor crisis social y económica del área agrícola. Por ello, el agrónomo Homero Castro Zurita originario de Ambato, realizó varias investigaciones en el año 1965, obteniendo excelentes resultados con el clon CCN-51 siendo este resistente a

enfermedades, dando como resultado cosechas productivas de muy buena calidad. Entre sus características tenemos mazorcas grandes (8,5 mazorcas = 1 libra de cacao seco), si se fermenta de la forma adecuada, puede generar un magnífico sabor y aroma que puede llegar a ser similar al del cacao nacional hasta cierto punto, a su vez es un árbol pequeño, abundante en frutos y fácil de manejar (Grandsur, 2021).

## **Figura 2**

*Cacao CCN-51*

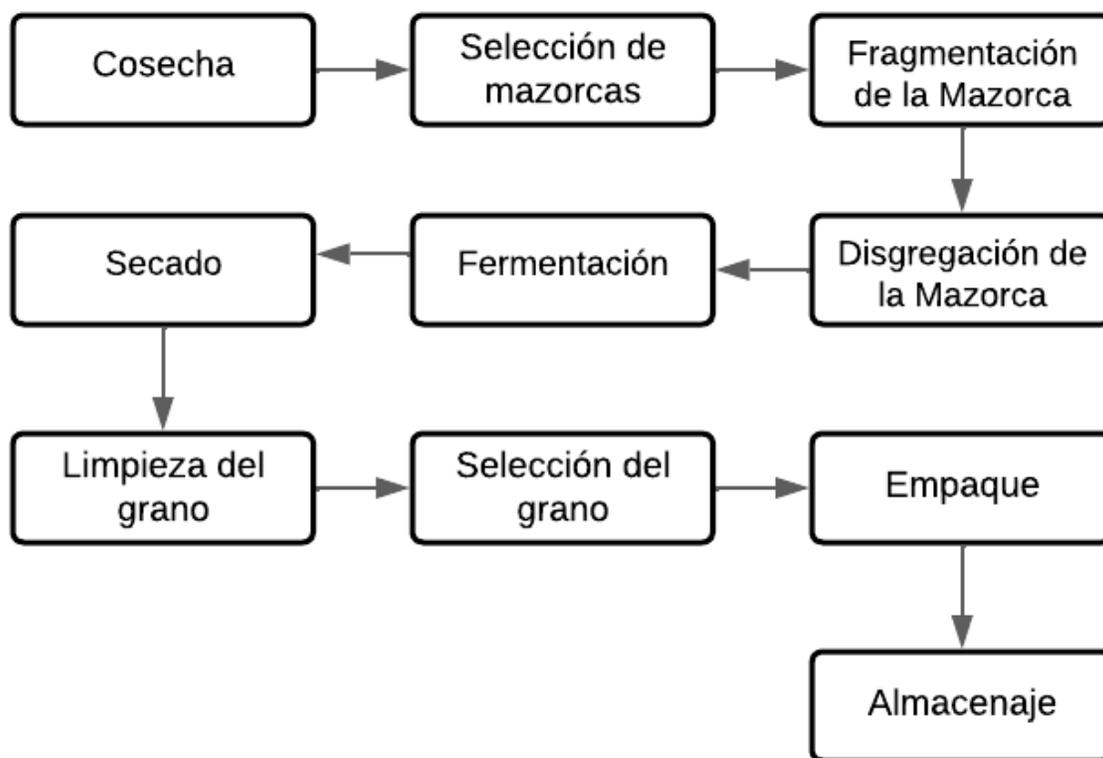


*Nota.* Fotografía tomada por el autor de la tesis.

## Manipulación del grano de cacao para la obtención de pasta de cacao.

**Figura 3**

*Manipulación del grano de cacao*



*Nota.* Elaboración propia. La información de diagrama contiene información de AGROCALIDAD, (2018).

### Condiciones ambientales para la plantación de cacao

Son los requerimientos ambientales necesarios para la plantación de cacao.

#### **Temperatura.**

La especie *Theobroma cacao* evolucionó en las llanuras de la región Amazónica, al pie del monte oriental de la cordillera Andina, en las cuencas hidrográficas de las selvas tropicales

en ambientes cálidos y húmedos. La temperatura anual ideal es de 25°C, pudiendo variar entre 24°C y 26°C. Temperaturas mayores o menores al rango establecido no son aptas para el cultivo de cacao comercial.

### ***Pluviosidad/precipitación.***

Las zonas cacaoteras tienen precipitaciones anuales entre 1250 y 3000 mm, el rango óptimo para obtener el mayor rendimiento está en 1500 y 2000mm. En periodos secos no debe extenderse más de tres meses una precipitación menor a 100 mm. En zonas secas por un periodo mayor a 7 meses se debe utilizar riego suplementario para cumplir con las condiciones hídricas. En cambio, en lugares con una precipitación mayor 2500 mm aumenta la posibilidad de enfermedades en el cacao y la pérdida de nutrientes en el suelo.

### ***Luminosidad.***

Los primeros años de la plántula se debe mantener una radiación solar entre 50% y 60% en la huerta. En zonas con sequías estacionales se debe mantener un riego y abonado generoso para evitar la defoliación de las puntas de la rama. La planta de cacao tiene un bajo punto de saturación lumínica. Una hoja en plena formación necesita solo un 20% de luminosidad para lograr su máxima producción fotosintética, un exceso de luminosidad retrasa la fotosíntesis.

### ***Humedad relativa.***

La humedad relativa en un cultivo de cacao varía en promedio entre un 70% y 85%, si el promedio es mayor a este rango existe una mayor incidencia de enfermedades y mayor presencia de plantas parásitas que viven en el árbol. En cambio, con una humedad relativa menor al rango existe mayor pérdida de agua de la planta por transpiración.

**Viento.**

La velocidad del viento no debe ser mayor a 5m/s puesto que aumenta el daño en la hoja, por ello es importante la colocación de cortinas rompevientos en los cultivos.

**Tabla 2**

*Tipo de suelo en cultivos de cacao*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Tipo de suelo en sequía	Suelos franco-limosos
Tipo de suelo ideal	Los suelos de “banco” se forman a lo largo de ríos.
Nivel de retención de agua	0.15 y 0.18cm/cm de suelo
Profundidad	0.8m a 1,5 m
Materia orgánica	3%

*Nota.* Elaboración propia. (AGROCALIDAD, 2012).

**Tabla 3**

*Requisitos de fertilidad del suelo en cultivos de cacao*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	13
porcentaje de saturación de bases	35 o más
pH	6 a 7
Fósforo	15 ppm o más
Potasio	0,24 mil equivalentes o más
Calcio	8 mil equivalentes o más
Magnesio	2 mil equivalentes o más
Materia orgánica	3% a 5%

*Nota.* Elaboración propia. (AGROCALIDAD, 2012).

**Tabla 4***Selección y clasificación de las semillas de cacao*

<b>Clasificación</b>	<b>Definición</b>	<b>Origen</b>	<b>Efecto en el chocolate y otros productos</b>
Buena	Granos con cotiledones internos marrón o marrón rojizo, agrietamiento bien definido.	Fermentación completa de la almendra.	Chocolate de buen sabor a cacao sin exceso de astringencia o amargor. En caso de cacao tipo nacional, excelente sabor floral
Ligera	Grano de cotiledones con color interno café con partes violetas, con agrietamiento mediando del cotiledón.	La fermentación se inició, pero no se completó con la almendra.	Chocolate con sabor a cacao, un poco astringente y amarga al paladar
Violetas	Granos con cotiledones color violeta, con una ligera resquebrajadura del cotiledón.	Fermentación insuficiente del grano.	Chocolate con ausencia de sabor a cacao, excesivamente amargo o astringente, bombón con color poco agradable a la vista.
Pizarra	Granos con parte interna compactada, de color gris negruzco, en más de la mitad de la superficie expuesta.	Grano sin fermentar. Granos de mazorcas verdes o pintonas.	Moho interno de más de 3% afecta el sabor de chocolate, sabor desagradable que no se puede quitar.
Mohos	Granos con partes internas con moho a simple vista. Parte inferior deteriorada debido a la acción del hongo	Demasiada fermentación, almacenamiento de almendras muy húmedas o secado deficiente y lento.	

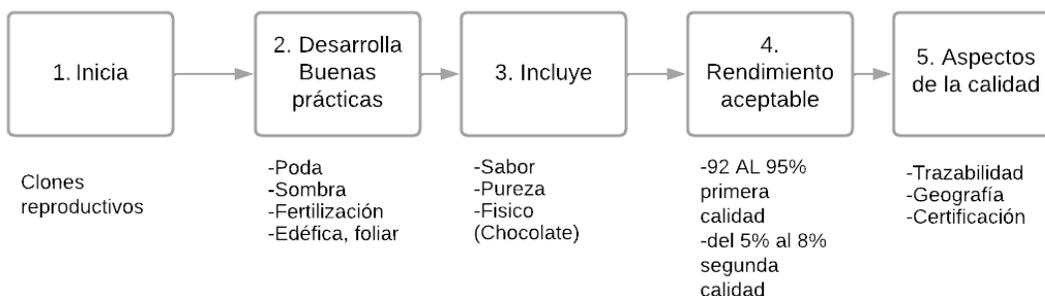
*Nota:* Información tomada de Guerrero y Llaguno, (2021).

## Calidad del chocolate

En un proceso de control de calidad se toman en cuenta todos los aspectos que puedan influir en las características importantes del grano como sabor, pureza y otras características físicas, puesto que es directamente proporcional en el desempeño para la fabricación de chocolates y aspectos de la calidad como geografía, trazabilidad y certificación (figura 4) (Brenes, 2021).

### Figura 4

*El proceso para la calidad del grano de cacao*



*Nota:* Elaboración propia basado en la información de Piza, (2009).

### Proceso de cosecha y postcosecha

Esto incluye el corte de las mazorcas, la selección y el quiebre para la obtención de las semillas en baba del cacao. Se debe realizar la cosecha cada 15 días, y se debe separar las mazorcas sanas de las enfermas, las inmaduras de las maduras. El quiebre debe ser cuidadoso para no dañar las semillas de cacao (Brenes, 2021).

El proceso debe ser realizado en completa higiene y colocado en envases limpios para asegurar la buena calidad del grano libre de impurezas (Brenes, 2021).

## Manipulación de la semilla de cacao

Es un proceso previo a la fermentación relacionado con las transformaciones que van a sufrir los granos que conllevan la formación del olor, color y sabor característico del chocolate.

**Tabla 5**

*Características del grano en baba*

Aspecto en baba del grano	Observación
Grano blanco y brillante	Es un grano extraído el mismo día y húmedo
Grano amarillo	Tiene bastante tiempo de extracción
Grano seco	Proviene de una mazorca inmadura, sobremadurado o enferma
Granos negros	Con enfermedad

*Nota:* Elaboración propia basado en la información de Brenes, (2021).

## Proceso de fermentación

La fermentación de cacao es un proceso microbiológico bastante complejo que involucra la actividad de una amplia gama de microorganismos como levaduras, bacterias del ácido láctico (BAL), bacterias del ácido acético (BAA), bacterias formadoras de esporas y mohos (Schwan & Fleet, 2014). Las fermentaciones son impulsadas por una interacción compleja entre materias primas, diferentes microorganismos y sus metabolitos. Para controlar el proceso y, en consecuencia, la calidad del producto final es esencial comprender a fondo esta interacción (Schwan & Fleet, 2014).

En la fermentación se elimina la baba o mucílago azucarado, donde ocurren los siguientes cambios: la muerte del embrión, la transformación interna de los cotiledones, y la formación de las sustancias que son precursoras del sabor y el aroma del chocolate.

## **Factores de estrés ambiental que influyen en el crecimiento y las interacciones microbianas**

### ***Competencia por los nutrientes.***

La mayoría de las fermentaciones relacionadas con los alimentos se llevan a cabo en condiciones discontinuas, aunque algunos nutrientes pueden drenarse, como lo ejemplifican los exudados ricos en carbohidratos que se drenan durante las fermentaciones del cacao (Schwan & Fleet, 2014).

Bajo tales condiciones, la cantidad de nutrientes disponibles es, en gran medida, fija y aquellos microorganismos que explotan la cantidad limitada de nutrientes de manera más eficiente tienen una ventaja competitiva (Hibbing et al., 2010). En ambientes ricos en carbohidratos, el nitrógeno suele ser un nutriente limitante que afecta directamente la fermentación (Schwan, & Fleet, 2014).

*Lactobacillus plantarum* es capaz de fermentar citrato, pero tiene una mayor afinidad por la glucosa como fuente de carbono. Cuando se cultiva como monocultivo en un sustrato que contiene ambas fuentes de carbono, la glucosa se metaboliza en lactato antes de que el ácido cítrico se metabolice en ácido acético y CO<sub>2</sub> (De Vuyst & Weckx, 2016).

Sin embargo, cuando se cocultiva con *Saccharomyces cerevisiae*, la levadura supera a *L. plantarum* por la glucosa, lo que hace que *L. plantarum* crezca a un número de células más bajo y produzca menos ácido láctico en comparación con cuando se cultiva como monocultivo.

La disponibilidad de oxígeno tiene un fuerte impacto en el crecimiento microbiano y la competencia por el oxígeno afectará la composición del microbiota durante una fermentación determinada. La fermentación de cacao, el crecimiento de BAA es deseable y esencial para la calidad del producto final. En consecuencia, el acceso/aireación de oxígeno influye fuertemente

en el progreso de tales procesos de fermentación e influye en la calidad del producto final (Dzialo et al., 2017).

### ***El sustrato como factor de estrés.***

Las condiciones ambientales durante las fermentaciones mixtas influyen fuertemente en el crecimiento y la capacidad de fermentación de los microorganismos. Durante las fermentaciones mixtas, los factores de estrés tales como baja actividad de agua, alta concentración de azúcar, alta concentración de sal, pH bajo/alto, bajo contenido de O<sub>2</sub> o alta tensión de CO<sub>2</sub>, junto con una disponibilidad limitada de nutrientes, tendrán un fuerte impacto en la sucesión microbiana tanto a nivel de especie como de cepa. En ambientes con alto contenido de azúcar, como fermentaciones de pulpa de cacao, el sustrato en sí mismo ejerce un fuerte estrés sobre los microorganismos presentes y es un factor decisivo en la configuración de la comunidad microbiana que crece. Solo un número limitado de organismos, principalmente levaduras y BAL, pueden crecer en condiciones en las que la concentración de azúcar supera los 200 g/L. Además, las condiciones a menudo ácidas en tales ambientes ejercen un estrés adicional sobre los organismos presentes (Fleet 2001; Hohmann 2002).

### **Tipos de fermentación**

El proceso de fermentación se caracteriza por una sucesión microbiana bien conocida. El pH inicial (3,6) de la pulpa provocado por la presencia de ácido cítrico, junto con los bajos niveles de oxígeno, favorece la colonización de las levaduras. La proliferación de estos da lugar a la producción de etanol y a la secreción de enzimas pectinolíticas (Guzmán & Márquez, 2021). Los cambios en la pulpa de cacao dan como resultado la formación de precursores del aroma del cacao (aminoácidos y azúcares reductores). Los precursores se potencian en las etapas de secado y tostado.

### ***Fermentación en sacos de yute.***

En este método los granos de cacao en baba se colocan en sacos de yute o polietileno, preferiblemente nuevos o exclusivamente para cacao, y de tejido ralo para permitir exudado de la baba, cabe mencionar que en la fermentación en sacos de yute es complicado realizar remociones por que la parte superior de la masa se calienta más que la parte inferior, es por ello que la fermentación no ocurre de manera uniforme en las almendras de cacao, por lo que no deja un sabor a podrido, siendo el menos adecuado para la fermentación. Asimismo, también adquiere el sabor de estas fibras vegetales, en este caso el yute. En este método un gran porcentaje de las almendras son pizarrosas y violáceas. Arce, 2003 como se citó en (Guerrero y Llaguno, 2021).

### ***Fermentación en cascada.***

Este es el proceso de fermentación más sencillo, donde se colocan hojas de plátano en el suelo y se coloca el cacao en baba para evitar el contacto directo con el material. En esa ruma se coloca la misma cantidad de hojas para evitar la pérdida de calor en el proceso de fermentación, las remociones se realizan cada 48 hasta alcanzar las 96 horas colocando el cacao de la parte superior en la inferior y así sucesivamente, con este método se alcanza almendras bien fermentadas por encima del 90%, Arce, 2003 como se citó en (Guerrero y Llaguno, 2021).

### ***Fermentación en cajones.***

Las almendras del cacao en baba se fermentan en cajas de madera, se usa madera por ser un buen aislante de calor, las maderas más recomendadas son pechiche, tillo y laurel.

En esta fermentación se debe colocar una masa uniforme y cubrir con hojas de plátano o yute para conservar el calor desprendido por la fermentación alcohólica, y conservar la humedad durante la fermentación.

***Fermentación controlada.***

La fermentación del cacao es un proceso natural que ocurre de manera espontánea y a breve rasgos permite el desarrollo del sabor y el aroma característico del chocolate gracias al rol que poseen ciertos microorganismos endógenos durante la fermentación. No obstante, el transcurrir de los años únicamente ha remarcado el interés creciente que existe en explorar nuevos métodos que permitan una fermentación controlada del cacao y de qué manera esto afecta las características fisicoquímicas y organolépticas que ya conocemos (Guzmán-Alvarez & Márquez-Ramos, 2021).

Se ha planteado ampliamente el uso de cultivos iniciadores para la fermentación del cacao puesto que actualmente no se tiene mucho conocimiento sobre como ciertas especies específicas de BAL o BAA afectaran las características fisicoquímicas y organolépticas que se desarrollan en los granos de cacao durante la fermentación (Lefeber et al., 2011).

**Tiempo de fermentación**

Para el cacao Nacional se debe llevar una fermentación de 4 días, los cacaos forasteros y trinitarios de 5 a 6 días.

**Tabla 6***Mazorcas que afectan la fermentación*

Mazorca atacada por roedores	Estas almendras pueden estar contaminadas por bacterias patógenas y hongos.
Mazorca con signos de enfermedad	Son almendras afectadas por enfermedades como <i>Crinipellis pernicioso</i> "Escoba de bruja" o <i>Moniliophthora roreri</i> "Monilla".
Mazorca inmadura	Estas almendras están pegadas a la cáscara y su mucílago o baba tiene pocos azúcares, dificultando la fermentación.
Mazorca pintona	Estas almendras presentan escaso mucílago, pobres en mucílago azucarado
Mazorca sobremadura	Son almendras que están rotas por la germinación no aptas para la fermentación.

**Microbiología y bioquímica de la fermentación**

Existen dos etapas en el proceso de fermentación anaeróbica y aeróbica.

***Anaeróbica.***

Sucede en un medio sin aire, dura alrededor de 48 a 72 h después de la rotura de la mazorca de cacao, una vez que se exponen los granos la baba se contamina de microorganismos, principalmente de levaduras, que actúan sobre los azúcares del mucílago, donde ocurre un proceso de transformación dando como producto alcohol etílico y desprendimiento de calor.

**Levaduras.** La primera etapa de la fermentación del grano de cacao involucra el crecimiento de levaduras que pertenecen principalmente a los géneros *Hanseniaspora*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Kluyveromyces*, *Kazachstania*, *Meyerozyma*, *Rhodotorula*, *Wickerhamomyces* y *Pichia*. Las levaduras se ven favorecidas por la acidez inicial de la pulpa de cacao (pH 3,6), la concentración de ácido cítrico, los bajos niveles de oxígeno y la temperatura ambiental que oscila entre 25 y 35 °C. La levadura metaboliza la glucosa, la fructosa y la sacarosa presentes en la pulpa de cacao, produciendo etanol y dióxido de carbono. El metabolismo central de la levadura comienza con la conversión básica de azúcares en piruvato, produciendo ATP y cofactores reducidos de NADH. En condiciones aeróbicas, el piruvato se convierte en acetil-Co A por el piruvato deshidrogenasa y se dirige al ciclo del ácido cítrico (De Vuyst & Leroy, 2020). Además, algunas levaduras pueden tener actividad pectinolítica y antifúngica, lo cual es deseable en el proceso de postcosecha del cacao.

**BAL.** Las BAL son un grupo de bacterias Grampositivas cuyo principal producto del metabolismo de los carbohidratos fermentables es el ácido láctico. La población de BAL aumenta cuando parte de la pulpa y el lixiviado se han drenado principalmente a la degradación de la pectina, y la población de levaduras disminuye. La producción de CO<sub>2</sub> favorece este aumento de las poblaciones de BAL por parte de las levaduras y por la liberación de vitaminas y otros nutrientes de la autólisis de las células de levadura durante la fermentación del cacao. Las especies más abundantes después de 24 h de fermentación son *Limosilactobacillus fermentum*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Lactococcus lactis*.

Las BAL actúan junto a las levaduras, en menor proporción, pero al no remover la masa, las BAL empiezan a proliferar, dando como producto ácido láctico que se transforma en ácido butírico. Por ello, el sabor se lo relaciona a podrido o desagradable.

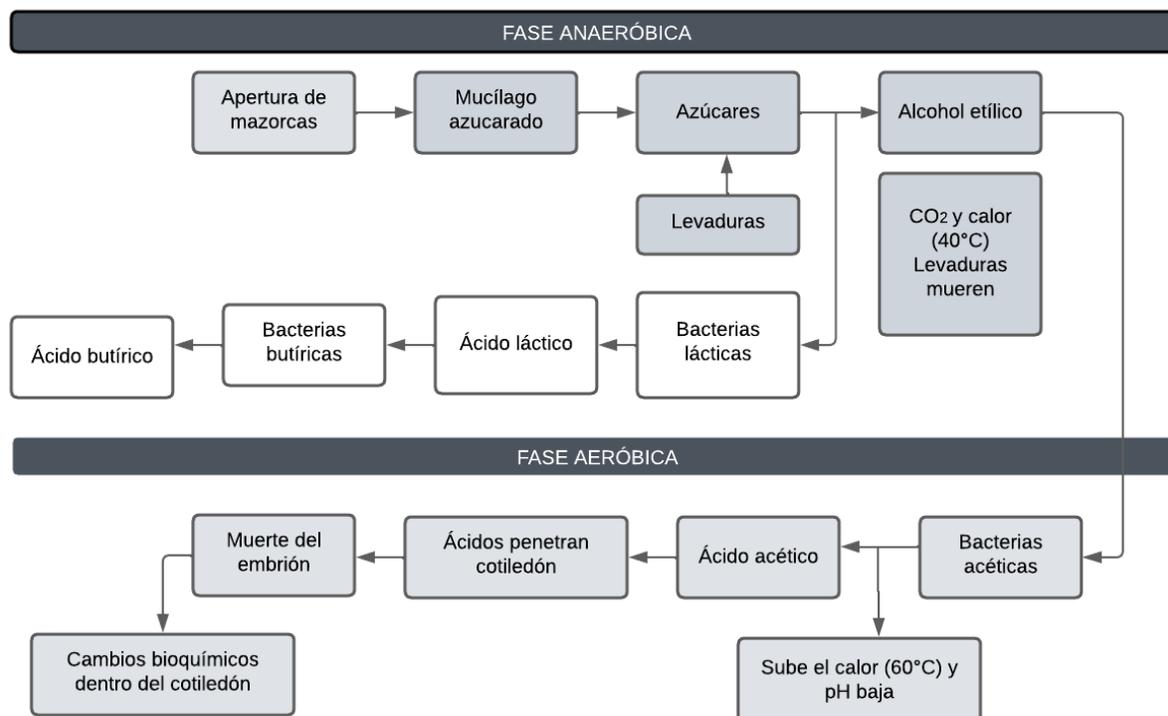
### **Aeróbica.**

Se realiza en presencia de aire, se produce después de aproximadamente 48 h de fermentación, en esta fase actúan las BAA, que transforman el alcohol en ácido acético, esto ingresa al grano lo que produce la muerte del embrión, asimismo aumenta la temperatura ocurriendo un sin número de reacciones al interior del grano que lo transforma completamente, como se observa en la figura 5.

Al tercer día de fermentación, cuando la pulpa de los granos de cacao ha disminuido y tanto la temperatura como la cantidad de aire dentro de la masa de fermentación han aumentado, las condiciones ambientales son favorables para la proliferación de BAA. Estas bacterias metabolizan el etanol producido durante el crecimiento de la levadura como su principal fuente de carbono.

**BAA.** Las BAA domina esta fase de la fermentación del grano de cacao; en los últimos años, estas bacterias han sido ampliamente estudiadas debido a su importante contribución a la fermentación del grano de cacao. Las BAA conducen la oxidación del etanol y del ácido láctico a ácido acético. El ácido acético se considera uno de los principales metabolitos producidos por una reacción exotérmica que oxida el etanol a ácido acético.

El aumento de la temperatura a 40-52 °C, la disminución del pH de 6,5 a 4,8 en el cotiledón y la penetración de ácido acético y etanol al grano de cacao es la causa de la muerte del embrión, favoreciendo su inactivación y aumentando la permeabilidad de la pared celular del grano y la liberación de moléculas precursoras de color y sabor del cacao. La diversidad de las BAA está prácticamente limitada a dos géneros: *Acetobacter* y *Gluconobacter*. *Acetobacter pasteurianus* es la BAA más identificada durante la fermentación del grano de cacao.

**Figura 5***Proceso de la fermentación*

*Nota.* Elaboración propia. Información tomada de: Piza, R. P. (2009).

### Indicadores de un buen proceso de fermentación

- Muerte del embrión
- Aumento de temperatura
- Presencia de la coloración violeta pálida
- Rompimiento de los cotiledones
- Presencia de un color café oscuro o rojizo después del secado de los granos de cacao (AGROCALIDAD,2018).

## **El secado**

En el secado de las almendras se debe eliminar el exceso de agua dentro del grano donde el porcentaje de humedad debe ser del 7% de humedad por su alto contenido en grasa, durante el secado se terminan las reacciones bioquímicas, se facilita la manipulación y se mantiene la calidad.

### ***Secado natural.***

En este proceso se aprovechan los rayos solares, esparciendo los granos de cacao y apilándolos durante la noche. El tiempo de secado varía de acuerdo con el clima que va de 5 a 8 días donde por cada quintal de cacao húmedo se necesita 6 m<sup>2</sup> de cubierta.

### ***Secado artificial.***

En este proceso se utiliza como fuente de calor la combustión por gas, diésel o gasolina, empleándose generalmente gas natural. Se emplea secadores de flujo estacionario, el tiempo de secado es de 12 horas, de acuerdo con el porcentaje de humedad interna, la temperatura debe ser de 50°C-60°C como máximo. El secado muy rápido impide la eliminación del ácido acético de la almendra de cacao. Para simular un ambiente natural se recomienda periodos de secado de 2 horas y 1 hora de ventilación.

## **Almacenamiento**

Para conservar la calidad del grano seco de cacao este se debe almacenar en un lugar seco, ventilado con una humedad relativa del 65% al 70%. Se debe evitar contaminación con gasolina, pesticidas, kerosene y otro tipo de productos que afecten la calidad del cacao.

Antes de empacar el grano se eliminan impurezas, se descartan los granos mohosos, pegados, pequeños, etc. Se debe controlar la fumigación para los insectos.

## Normativa INEM 623 para la pasta de chocolate

Es la presente norma vigente sobre los requisitos que debe cumplir la pasta de chocolate proveniente del grano de cacao, que va a ser utilizado por las industrias para producir chocolate comercial de consumo humano.

### Tabla 7

*Normativa sobre los requisitos para la pasta de cacao*

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
<b>Humedad</b>	%	-	3	INEN 1 676
<b>Grasa</b>	%	48	54	INEN 535
<b>Cenizas totales</b>	%	-	7,5 alcalinizada 5 normal	INEN 533
<b>Almidón natural de cacao</b>	%	8,5	9	NEN 636
<b>Fibra cruda</b>	%	-	4,7	INEN 534

*Nota.* Información tomada de la NTE INEM 623

## Análisis bromatológicos

### **pH.**

El pH (potencial hidrogeno) es una forma de medir la alcalinidad o acidez, en una escala de 0 a 14, de una solución que se encuentra naturalmente en estado líquido a una temperatura que se suele encontrar entre los 20 y 25 grados centígrados. Las mediciones de pH generalmente se suelen realizar en muestras de alimentos debido a múltiples razones, la más común es asegurar que la muestra se encuentra dentro o cumple todos los requerimientos legales establecidos por un organismo de control, como parte de un procedimiento analítico o

para controlar las propiedades o características fisicoquímicas que pueden ocurrir en un rango particular de pH (Lawn & Richard, 2003).

### ***Acidez titulable.***

La acidez titulable, también conocida simplemente como acidez, permite medir la concentración total de un ácido dentro de un alimento. La acidez se encuentra relacionada con el pH puesto que ambas propiedades se encuentran relacionadas dentro de un análisis bromatológico al proporcionar información valiosa sobre la calidad que poseerá el alimento. Aunque la propiedad de la acidez permite predecir de mejor manera el impacto que un ácido tendrá en el sabor de un alimento esta no proporciona toda la información fundamental de este (Tyl & Sadler, 2017).

### ***Humedad.***

La humedad es uno de los parámetros bromatológicos de mayor importancia dentro del análisis de alimentos, debido al impacto que esta puede llegar a ocasionar en la estabilidad y la calidad de los alimentos, ya que, por ejemplo, un alto contenido de humedad puede llevar a la rápida degradación del alimento, aparición de mohos, insectos, etc. (Pomeranz & Meloan, 1994).

### ***Ceniza.***

El contenido de ceniza es una medida de la cantidad total de minerales que se encuentran presentes en un alimento. La ceniza puede considerarse como el residuo de tipo inorgánico que permanece luego de que todo el contenido de agua y materia orgánica se ha removido de la muestra. Generalmente, la técnica que más se usa para esto es el calentamiento a altas temperaturas valiéndonos del hecho de que la gran mayoría de los minerales no se destruyen con el calor y tienen un bajo punto de volatilidad en comparación con el resto de los componentes del alimento. La determinación del contenido de ceniza se

suele realizar como parte del etiquetado nutricional, el procesamiento o el aseguramiento de la calidad de un alimento (UMASS, 2011).

### **Grasa.**

La determinación de la grasa es realizada extrayendo la misma de una muestra utilizando un solvente, finalmente toda la grasa recuperada es pesada. El método Soxhlet es el más empleado en la determinación de la grasa y se encuentra reconocido por la Asociación de Oficiales Químicos Analíticos (Meat Technology, 1998).

### **Proteína cruda.**

Dentro de los análisis bromatológicos la proteína cruda puede considerarse como el contenido total de proteína que posee un alimento. El método Kjeldahl es uno de los estándares utilizados en la industria para la determinación de la proteína cruda, el cual, en palabras simples, mide el contenido total de nitrógeno de una muestra para luego calcular el contenido total de proteína cruda empleando un factor de conversión (Jiang et al., 2014).

### **Análisis microbiológicos**

Los requisitos microbiológicos que debe cumplir la pasta de cacao se detallan en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Requisitos microbiológicos para la pasta de cacao*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permitido</b>	<b>Método de ensayo</b>
<b>Coliformes totales</b>	UFC/g	100	INEM 1529
<b><i>E. coli</i></b>	UFC/g	10	INEM 1529
<b><i>Salmonella spp</i></b>	UFC/g en 25 g	1	INEM 1529
<b>Mohos y levaduras</b>	UFC/g	0	INEM 1529

*Nota.* UFC= Unidades Formadoras de colonias.

## Capítulo III

### Metodología

#### Ubicación del área de estudio

##### *Ubicación política*

El área de muestreo para la obtención de la materia prima se encuentra ubicada en el recinto “El Limón”, Cantón El empalme, Provincia del Guayas, Ecuador.

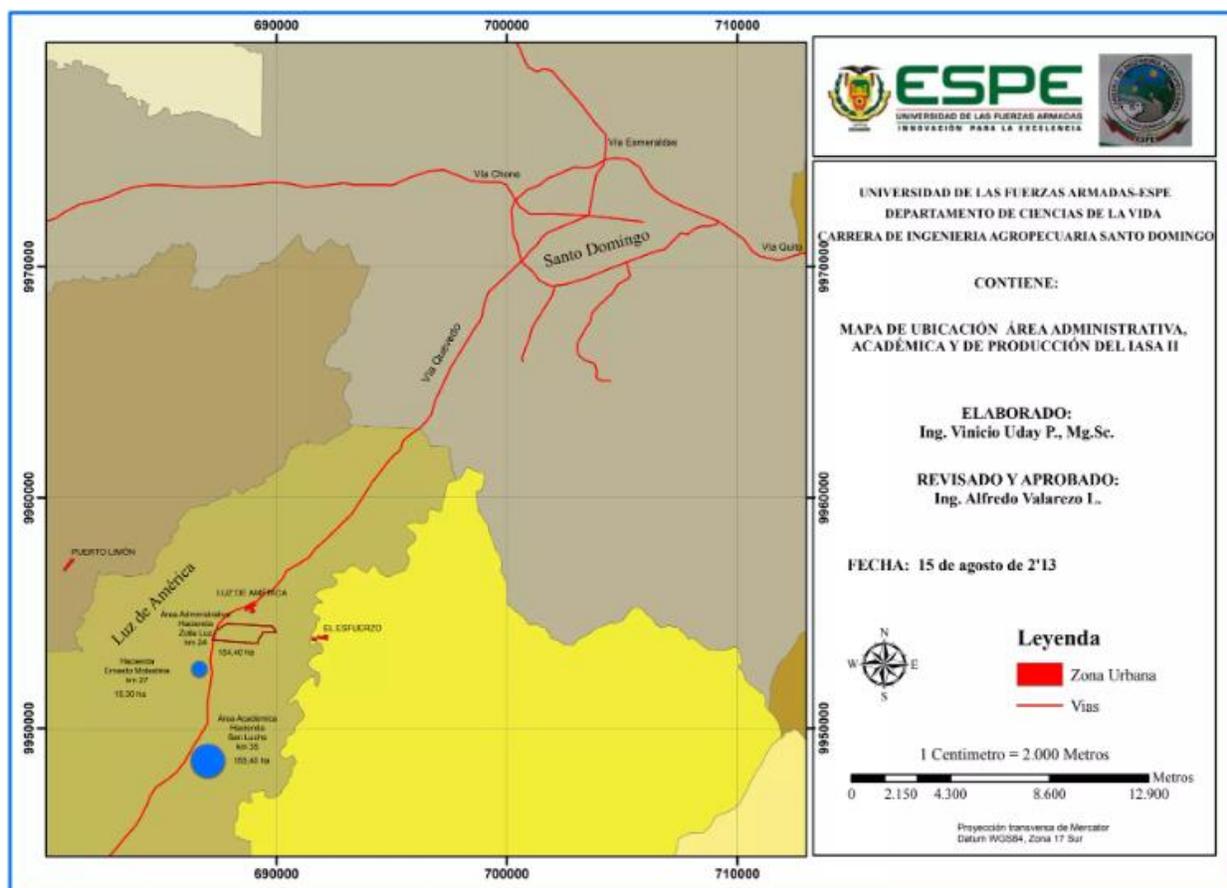
El análisis experimental y el método de fermentación controlada se realizó en el Km 24 vía Quevedo, parroquia Luz de América, cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

##### *Ubicación geográfica*

El muestreo para la obtención de la materia prima se realizó en la finca “La Rosita”. El análisis experimental y fermentación controlada fue realizada en el laboratorio de Bromatología y Biociencias de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE a una latitud de 00° 24' 36”, longitud de 79° 18' 43” y altitud de 270 m.s.n.m.

Figura 6

Mapa de ubicación del área de desarrollo del análisis experimental y fermentación controlada



Nota. Gráfico tomado de Uday, (2013).

### Ubicación ecológica

Las condiciones geográficas y ecológicas donde se desarrollaron la presente investigación se detallan en la tabla 9.

**Tabla 9***Condiciones geográficas y ecológicas*

<b>Condiciones geográficas y ecológicas</b>	
Zona de vida	Bosque Húmedo Subtropical
Altitud	625 m.s.n.m
Temperatura mínima	21°C
Temperatura máxima	26°C
Precipitación	1600-3200 mm/año
Humedad relativa	85%
Heliofanía:	680h luz/año
Suelos:	Franco Limo arcilloso

*Nota.* Información extraída de Briones, (2022).

**Materiales****Tabla 10***pH*

<b>Equipos</b>	<b>Insumos/materiales</b>	<b>Reactivos</b>
Potenciómetro	Vaso de precipitación	Agua destilada

**Tabla 11***Acidez*

<b>Equipos</b>	<b>Insumos/ materiales</b>	<b>Reactivos</b>
Mufla	Matraz Erlenmeyer de	Alcohol al 90%
Balanza analítica	100mL	Solución indicadora de
	Matraz aforado de 500mL	fenolftaleína
	Bureta de 25 mL con	Solución 0,02N de
	divisiones de 0,05mL	hidróxido de sodio

**Tabla 12***Humedad*

<b>Equipos</b>	<b>Insumos/materiales</b>	<b>Reactivos</b>
Estufa	Cajas Petri	Agua destilada
Balanza analítica	Desecador	

**Tabla 13***Ceniza*

<b>Equipos</b>	<b>Insumos/materiales</b>	<b>Reactivos</b>
Mufla	Vaso de precipitación	Agua destilada
Balanza analítica	Desecador	

**Tabla 14***Grasa*

<b>Equipos</b>	<b>Insumos/materiales</b>	<b>Reactivos</b>
Estufa	Papel filtro0020	Solvente
Centrifuga		

**Tabla 15***Proteína*

<b>Equipos</b>	<b>Insumos/materiales</b>	<b>Reactivos</b>
Balanza analítica sensible	Tamiz	Ácido sulfhídrico
al 0,1 mg	Recipiente hermético	Agua destilada
Unidad digestora	Tubos de destilación	Solución Ácido Bórico al
Sorbona o	Matraz Erlenmeyer de 250	2%
colector/extractor de	ml	Solución Hidróxido de
humos	Mortero	Sodio al 40%
Unidad de destilación	Gotero	Indicador Kjeldahl
Fisher destilling		Solución Ácido clorhídrico
Plancha de calentamiento		0,1N
con agitador magnético		Tabletas catalizadoras

**Tabla 16***Análisis microbiológico*

<b>Equipos</b>	<b>Insumos/materiales</b>	<b>Reactivos</b>
Incubadora	Kit de disección	Peptona
Vórtex	Mechero	
	Tubos de ensayo	
	Pipetas automáticas	
	Petrifilm	

**Manejo procedimental**

Se realizó la caracterización de chocolate de dos variedades de cacao Nacional y CCN51, donde se analizó la barra de chocolate, considerando el manejo, postcosecha, tipo de fermentación y secado.

***Metodología para el proceso fermentativo del cacao***

**Muestreo.** Las mazorcas de cacao se cosecharon en octubre de 2022, evitando las mazorcas con signos de enfermedad, inmaduras y muy maduras. Los sacos de cacao se rotularon llevando los siguientes datos: fecha, productor, lugar de procedencia y el tipo de cacao.

**Tabla 17**

*Información tomada al rotular los sacos de cacao*

---

**Ficha técnica:** *Theobroma cacao L.*

---

Fecha:

Tipo de cacao:

Productor:

Lugar de procedencia:

Características de la zona:

---

**Cortado.** Se quebraron las mazorcas con cuidado para evitar dañar los granos y se desgrano con las manos limpias, separando los granos de la placenta, haciendo un barrido manual y se depositó en un envase limpio. El grano de cacao de buena calidad presenta un color blanco, brillante y húmedo. El cacao inmaduro es seco o poco jugoso, el cacao con signos de enfermedad o muy madurado es de color amarillento.

**Pesado.** Se colocaron los granos de cacao en una balanza y se anotó los pesos, tanto de la variedad Nacional y CCN-51, seguido se realizó la clasificación y separación para los diferentes tratamientos.

**Fermentación.** El volteo de semillas de cacao es un proceso aplicado durante la fermentación donde se mezcla la masa de la pulpa para homogeneizar la temperatura y mejorar la aireación de los granos, donde las BAA son estimuladas para un mayor metabolismo, a su vez hay un aumento en la temperatura, y por lo tanto una aceleración de la fermentación (Camu et al., 2008b).

### ***Fermentación en cajones***

Este tipo de fermentación se llevó a cabo en cajones de madera debidamente registrados, asimismo se realizó una desinfección con hipoclorito de sodio al 3%, alcohol antiséptico al 70%, y se dejó secar. Seguido se colocó en la base de las cajas hojas de plátano y sacos de yute, para evitar el ingreso de insectos y elevar la temperatura para la fermentación por las BAA y BAL.

Se registro la hora del inicio de la fermentación y se realizó 2 volteos en la mañana y 2 volteos en la tarde de manera manual, durante un periodo de tiempo de 7 días.

### ***Fermentación controlada***

Este tipo de fermentación se llevó a cabo en el laboratorio de Biociencias, en donde se separaron las dos variedades de cacao en envases plásticos debidamente desinfectados y rotulados. En cada envase se colocaron 2 kilos de cada variedad, inoculando 5 mL por kilo en el nacional de *Lactobacillus plantarum*. Se realizaron volteos cada 3 – 4 horas por un periodo de 5 días.

**Secado.** El proceso de secado de las almendras de cacao es un proceso muy importante que va a determinar la calidad de este, un mal secado de la almendra de cacao puede producir el rechazo total de un lote de cacao, ya sea por contaminación por mohos o levaduras, en cambio un secado muy rápido produce cacaos amargos y ácidos, también puede provocar extraños olores a tierra, humo y madera.

***Secado al ambiente.*** Medio día durante 6 días.

***Secado artificial.*** En horno con aire caliente a 40°C cada 2 horas durante 2 días.

**Almacenamiento.** Una vez secado los granos de cacao se almacenaron en fundas plásticas, identificando el tratamiento, la fecha del inicio de la fermentación y la fecha del almacenamiento y se guardó a temperatura ambiente.

### ***Elaboración de la pasta de chocolate***

Para la elaboración de la pasta de chocolate se realizaron los siguientes pasos:

**Clasificación de semillas.** Se seleccionaron las semillas de cacao y se descartaron aquellas que presentaban contaminación o estaban en mal estado para evitar que se afectara la calidad del chocolate.

**Tostado.** Se realizó el tostado de las semillas de cacao colocándolas sobre bandejas de acero inoxidable, seguido se colocó sobre una plancha térmica y se tostó durante 30 min cada tratamiento, para realizar el posterior descascarillado.

**Descascarillado.** Luego del tostado de las semillas de cacao, se retiró la cascara de manera manual a temperatura ambiente. Una vez separada la testa se colocó en recipientes plásticos para introducirlo en la molienda.

**Molienda.** El grano fraccionado y limpio, fue sometido a un molino de discos por fricción a una temperatura de 60°C, obteniendo el licor de cacao.

**Mezcla y amasado.** Con el licor de cacao, se realizó la mezcla de manera manual y se añadió la cantidad de azúcar según la formulación, eliminando la humedad y los ácidos volátiles.

**Refinación.** Se usó un molino de discos, el cual es ideal para el licor de cacao, por un periodo de 3 horas a 35°C, de esta manera se obtiene una granulometría de 30-40 micras que es el tamaño adecuado para la comercialización del licor de cacao.

**Conchado.** Mediante el conchado de cacao se reducen las partículas y los aglomerados mediante presión con piedras de granito, esto ayuda a eliminar los olores anómalos y ácidos volátiles del cacao.

**Moldeado.** Se colocaron 10g de licor de cacao en cubos plásticos debidamente rotulados por cada tratamiento y se mantuvo en refrigeración por 24 horas para su posterior análisis.

**Empaquetado.** Transcurrido las 24 horas se empacó en fundas plásticas debidamente rotuladas

**Almacenamiento.** Se almaceno a los cubos de chocolate una temperatura de  $2\pm 5^{\circ}\text{C}$  para posteriores análisis químicos, físicos y microbiológicos, asimismo se evitó una contaminación cruzada con otros alimentos, perjudicando el análisis experimental.

### ***Elaboración del producto final***

Para la elaboración del producto final (chocolate) se añadieron 40 gramos de manteca de cacao, 3 gramos de lecitina de soya y 300 gramos de azúcar por cada 250 gramos de pasta de cacao.

### ***Análisis físicos-químicos***

**Determinación de la acidez titulable.** En este método se siguió el procedimiento de la NTE INEN 381. Se pesaron 25 g de la muestra la cual fue previamente triturada y luego colocada en un Erlen Meyer y seguido se añadió 50 mL de agua destilada caliente y se homogeneizó la disolución. A continuación, se llevó el Erlen Meyer por media hora a un baño de agua caliente, para luego aforar en un Erlen Meyer de 250 mL con agua destilada.

Se tomaron 25mL de la muestra preparada y luego se introdujo el electrodo en la muestra para obtener lectura del pH inicial, seguido se tituló con hidróxido de sodio al 0,1 N

hasta obtener un pH 8. Seguido se tomó nota del hidróxido consumido con aproximación de error de 0,05 cm<sup>3</sup>.

La fórmula empleada para productos sólidos:

$$A = \frac{V_1 N_1 M}{V_2}$$

Siendo:

**A**=g de ácido por 100g de producto

**V<sub>1</sub>**= cm<sup>3</sup> de NaOH usados para la titulación de la alícuota

**N<sub>1</sub>**= Normalidad de la solución de NaOH

**M**= Peso molecular del ácido considerando como referencia (ácido málico)

**V<sub>2</sub>**= Volumen de alícuota que fue usada con el análisis.

**Determinación del pH.** Para la determinación del pH se siguió la norma INEM 318. Primero, se contrastó el correcto funcionamiento del potenciómetro, para ello se empleó un buffer estándar de pH 4 y en agua destilada con pH 6.

Se colocó 2 gramos de la muestra en un vaso de precipitación y se aforó con 5 mL de agua destilada caliente y se homogeneizó, seguido se introdujo el electrodo del potenciómetro en la muestra y se registró la lectura del pH.

**Determinación de la humedad.** En la determinación de humedad se empleó la NTE INEM 1676, donde se usaron cápsulas de metal las cuales debían ser encerradas en la estufa por 1h:30m a 130°C. Luego se llevaban al desecador y una vez frías se pesaba 10 gramos de la muestra, posteriormente se las colocaba en la estufa a 100 °C por 30 min, se fue tomando la lectura de los pesos cada media hora, hasta observar un peso constante, con la tapa de la

cápsula abierta. Transcurrido este tiempo las cápsulas eran cerradas y retiradas de la estufa para colocarlas en el desecador, una vez frías se registraba el peso nuevamente.

Fórmula para determinar el contenido de humedad:

$$H = 100 * \frac{m - m_1}{m}$$

**En donde:**

**H**= Humedad en porcentaje de masa

**m**= masa inicial de la muestra a analizar, g

**m<sub>1</sub>**= masa de la muestra una vez transcurrido el secado, g

**masa**= peso del crisol con la muestra seca-peso del crisol vacío

**Determinación de grasa por método Soxhlet.** Las muestras deben estar selladas herméticamente para evitar espacios de aire, la cantidad extraída por lote debe ser representativa y no estar expuesta por demasiado tiempo al aire. Seguido se homogeneiza la muestra en el recipiente que lo contiene.

Para la determinación de la calidad de grasa por Soxhlet se usan unos vasos específicos del equipo los cuales deben ser tarados por 1h a 135°C, luego enfriados en el desecador, para luego tomar su peso e identificarlos. A continuación, se pesan 4 gramos de las muestras, se las envuelve en papel filtro y se insertan en unos dedales y encima se coloca el algodón liofilizado sobre la muestra para finalmente acoplarlo al equipo.

Seguido, se añaden 50 mL de éter etílico (solvente) en los vasos extractores de grasa, se coloca en el equipo, luego se acopla haciendo que los dedales entren en contacto con el solvente del vaso. Finalmente, se inicia el flujo de agua que actuará como refrigeración e inicia el programa del equipo el cual consistirá básicamente en el calentamiento del solvente para

facilitar la solubilidad del analito y una posterior etapa de recuperación del solvente. En el vaso quedará la grasa la cual se deberá pesar en la balanza analítica.

**Fórmula.** Cálculo del extracto etéreo por diferentes pesos.

$$G = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100$$

**G**= Porcentaje de grasa

**W<sub>0</sub>**= Peso de la muestra

**W<sub>1</sub>**= Peso del vaso beaker vacío

**W<sub>2</sub>**= Peso del vaso más la grasa

**Determinación de ceniza.** En la determinación de ceniza se usó crisoles de porcelana los cuales fueron previamente encerados al colocarlos en mufla a 600°C por 1h:30m. Luego, se colocaron en el desecador y se esperó a que estén fríos. Luego, se tomó el peso de estos en una balanza analítica y se los identificó con un lápiz en la base de este. A continuación, se pesó 10 gramos de la muestra la cual debe estar seca y luego se introducen en la mufla a 600°C por 6 horas. Una vez transcurrido este tiempo los crisoles se colocan en el desecador y seguido se registran los pesos en la balanza analítica.

Para calcular la ceniza total se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Cenizas totales (\%)} = \frac{Pf - Pi}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100$$

**En donde:**

**Pf**=peso final del crisol (con la muestra quemada)

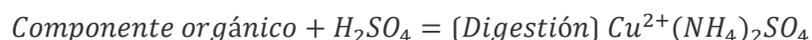
**Pi**=peso inicial del crisol (vacío)

**Pm**=peso de la muestra

### **Determinación de proteína mediante Kjeldahl**

**Preparación de la muestra.** Se realizó la preparación de la muestra para la determinación de proteína. Se tomó 100 g de muestra y se trituró, seguido se tamizó con una abertura de 1 mm, obteniendo un 95% del producto. Se conservó la muestra en un recipiente hermético hasta su posterior análisis

**Digestión.** La muestra debe ser preparada calentándola en acción conjunta de ácido sulfúrico. El ácido descompone la sustancia orgánica por oxidación y se libera nitrógeno reducido en forma de sulfato de amonio. El sulfato de potasio se suele añadir con la finalidad de incrementar el punto de ebullición en el medio. En el proceso de digestión también se utilizan catalizadores como el mercurio, el selenio, el cobre o los iones de mercurio o cobre. Cuando la muestra tome una apariencia clara e incolora podemos establecer que esta estará totalmente descompuesta.



Se pesó 0,3g de la muestra sobre un recipiente de pesado exento de nitrógeno, y se ubicó en el microtubo digestor. Se introdujo una tableta catalizadora y 5 mL de ácido sulfúrico al 99%.

Se colocaron los tubos de digestión con las muestras en el block-digest y se acoplo con el colector de humos, la digestión se realizó a una temperatura de 350°C a 400°C por un periodo de tiempo de 1-2 horas, Después de la digestión se obtiene un líquido color verde o azul (depende del catalizador), se deja enfriar la muestra a una temperatura ambiente y se mantiene en constante agitación para evitar la precipitación.

**Destilación.** En la destilación de la solución se agrega una pequeña cantidad de hidróxido de sodio para convertir la sal de amonio en amoníaco. Luego, los vapores destilados se atrapan en una solución especial de HCl (ácido clorhídrico) y agua.

En el microtubo se adicionan 15 mL de agua destilada, seguido se colocó el microtubo y el matraz de recepción con 50 mL de ácido bórico al 2% en el sistema de destilación Kjeltec. Se encendió el sistema y se agregó 30 mL de hidróxido de sodio al 40%, con un flujo constante de agua.

Se recogieron 200 mL del destilado, se recogieron los accesorios y se procedió a apagar el equipo.

**Titulación.** La cantidad de amoníaco o la cantidad de nitrógeno presente en la muestra se determina luego por titulación inversa. El HCl se empezará a neutralizar mientras el amoníaco es disuelto en la solución usada como medio de captura del ácido. El ácido que queda se puede valorar por retroceso con una solución estándar de una base como NaOH u otras bases. Se procedió a realizar la titulación

### ***Fórmula para el cálculo***

El porcentaje de nitrógeno se puede determinar usando la fórmula dada:

$$\text{Porcentaje de nitrógeno en la muestra} = \frac{1.4V + N}{W}$$

Donde:

**V**=ácido utilizado en la titulación (ml)

**N**= normalidad del ácido estándar

**W**= peso de la muestra (g)

Proceso para la obtención de la barra de chocolate

### **Análisis microbiológico**

En condiciones asépticas en la cámara de flujo laminar, se preparó una solución de peptona al 5%, y se añadió 9 ml de la solución en cada tubo de ensayo empleado en el estudio. Se realizaron disoluciones seriadas 1:10 de la muestra. Se emplea el vórtex a cada disolución. Se inoculó 1 mL de la disolución en las placas de Petri film y se incubó a 38°C por 48 horas para aerobios y a temperatura ambiente por 72 horas para hongos y levaduras. El resultado se expresa en UFC, empleando la siguiente fórmula.

#### **Fórmula para el recuento de UFC**

$$\left(\frac{UFC}{ml}\right) = \frac{n * f}{v}$$

#### **Donde:**

n= número de colonias por placa

f= factor de dilución

v= volumen inoculado en la placa

### **Análisis sensorial**

El panel sensorial estuvo compuesto por 10 panelistas, con conocimientos en la elaboración de chocolate, pertenecientes a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE sede Santo Domingo. Las muestras fueron equilibradas a temperatura ambiente para su posterior análisis. El tiempo de catación para cada muestra fue de 3 min (Figura 7).

Figura 7

Guía práctica empleada en la catación del cacao



## ANÁLISIS SENSORIAL DE CACAO

Ficha de Catación

MUESTRA \_\_\_\_\_

CATADOR \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_

CATEGORIAS		INTENSIDAD	DESCRIPTORES	CALIDAD (0-10)	PUNTAJE
<b>Aroma</b>					x1=
<b>Acidez</b>					x1=
<b>Amargor</b>	INTENSIDAD 0 a 2.5: ≥ 5 en calidad 2.5 a 5: ≤ 5 en calidad				x1=
<b>Astringencia</b>					x1=
<b>Defectos</b>					x2=
<b>Sabor</b>	Cocoa/Cacao			x2=	
	Dulce				
	Nuez				
	Frutas secas				
	Frutas frescas				
	Floral				
	Espicias				
Otros					
<b>Pos gusto</b>					x1=
COMENTARIOS:			PUNTOS DE CATADOR		x1=
<b>PUNTAJE FINAL</b>					

### ESCALA DE INTENSIDAD

0	1	2	3	4	5
Ausente	Apenas detectable	Presente	Caracteriza la muestra	Dominante	Extremo

### ESCALA DE CALIDAD

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pésimo		Malo		Regular		Buena		Buena		Excelente

### TIPS PARA EVALUAR CALIDAD EN DEFECTOS

**Nombrar el defecto:**  
Una reducción de puntos en calidad debe ser justificado en Descriptores.

**Relación inversa:**  
Entre más intenso el sabor defectuoso, se reduce el puntaje en calidad.



*Nota.* La presente guía fue obtenida de USAID Equal Exchange-TCHO.

## Diseño experimental

Se aplicó un diseño Trifactorial (A=2XB=3xC=2) de bloques completamente al azar, el modelo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + \beta_{ij} + r\beta_{ij} + \delta_k + S_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ =Variable respuesta de la unidad experimental

$\mu$ = Media general de experimento

$r_i$ = Efecto i-ésima nivel del factor A

$\beta_{ij}$ = Efecto del j-ésima nivel del factor B

$r\beta_{ij}$ = Interacción del i-ésima nivel del factor A con el j-esimo nivel del factor B

$\delta_k$ = Efecto del k-ésima nivel

$S_{ijk}$ = Error del modelo

**Tabla 18***Análisis de varianza*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Grados de libertad</b>
Réplicas	R-1	1
Variedades (A)	A-1	1
Tipo de fermentación (B)	B-1	2
Secado (C)	C-1	1
AxB	(A-1) (B-1)	2
AxC	(A-1) (C-1)	1
BxC	(B-1) (C-1)	2
AxBxC	(A-1) (B-1) (C-1)	2
Error experimental		12
Total	(t-1)	24
Coefficiente de variación		23

### ***Coeficiente de variación***

Para la obtención del cálculo del coeficiente de variación se empleó la siguiente fórmula:

$$cv = \frac{\sqrt{CMe}}{x}$$

Donde:

- **Cv**= Coeficiente de variación
- **CMe**= Cuadrado medio del error
- **X**= Media del experimento

### ***Análisis estadístico***

Los factores que se evaluaron fueron dos variedades de cacao: CCN51 y nacional, tres tipos de fermentación tradicional y controlada. Tipo de secado controlado y natural como se describe en la tabla 19.

**Factores y niveles****Tabla 19***Factores y niveles*

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>
Variedades (A)	a0= Nacional
	a1= CCN51
Proceso de fermentación (B)	b0= Yute
	b1= Cascada
	b2= Fermentación controlada (5 mL de <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> )
Proceso de secado (C)	c0= Secado ambiental
	c1= Secado artificial

**Tabla 20***Tratamientos*

<b>Tratamientos</b>	<b>Factores</b>	<b>Descripción</b>
T1	a0b0c0	Nacional+ Yute+ Ambiente
T2	a0b1c0	Nacional+ Cascada+ Ambiente
T3	a0b2c0	Nacional+ Controlada+ Ambiente
T4	a0b0c1	Nacional+ Yute+ Artificial
T5	a0b1c1	Nacional+ Cascada+ Artificial
T6	a0b2c1	Nacional+ Controlada+ Artificial
T7	a1b0c0	CCN51+ Yute+ Ambiente
T8	a1b1c0	CCN51+ Cascada+ Ambiente
T9	a1b2c0	CCN51+ Controlada+ Ambiente
T10	a1b0c1	CCN51+ Yute+ Artificial
T11	a1b1c1	CCN51+ Cascada+ Artificial
T12	a1b2c1	CCN51+ Controlada+ Artificial

**Particularidades de la unidad experimental**

Las almendras de cacao fueron recolectadas fermentadas y secadas, seguido se realizó la pasta de chocolate y se elaboró el producto final de cacao, por último, se evaluó las características físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales.

**Bloques y repeticiones****Tabla 21***Variables para medir*

<b>Variables bromatológicas</b>	<b>Variables organolépticas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ceniza</li><li>• Acidez titulable</li><li>• Humedad</li><li>• Grasa</li><li>• pH</li><li>• Proteína</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nuez</li><li>• Frutal</li><li>• Floral</li><li>• Dulce</li><li>• Amargor</li><li>• Astringencia</li></ul>

## Capítulo IV

### Resultados

Se empleó un DBCA mediante un modelo lineal generalizado para las variables dependientes: pH, acidez, grasa, humedad, ceniza, índice de semilla, perfil sensorial y análisis microbiológicos. Los datos se obtuvieron del producto final de chocolate para cada factor (A: variedad de cacao; B: tipo de fermentación; C: método de secado) y en las interacciones ABC. Los resultados están presentados empleando la media y la desviación estándar de cada tratamiento analizado. Para la comparación de los tratamientos se utilizó la prueba de significación Tukey, con un nivel de significación  $p \leq 0,05$ . Los siguientes resultados fueron analizados con el programa IBM SPSS Statistics versión 28.0.1.1. y InfoStat versión 2020.

#### **Resultados de análisis de varianza para las variables dependientes fisicoquímicas del producto final de cacao**

En el análisis de varianza realizado para la variable dependiente pH (tabla 22), se encontró diferencia altamente significativa en el factor B (tipo de fermentación), factor C (tipo de secado), en la interacción AB (variedad de cacao+ tipo de fermentación), BC (tipo de fermentación +método de secado) y ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). Por otro lado, no se encontró diferencia en el factor A (variedad de cacao) y en las réplicas en este último se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos.

**Tabla 22***Análisis de varianza para: pH*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Variedad	0,000	1	0,000	0,045	0,835
B: Fermentación	0,575	2	0,287	48,689	0,000
C: Secado	0,096	1	0,096	16,316	0,002
D: Réplicas	0,00042	1	0,00042	0,07	0,8033
Interacciones					
AB	0,650	2	0,325	55,115	0,000
AC	0,016	1	0,016	2,715	0,125
BC	0,158	2	0,079	13,378	0,001
ABC	0,898	2	0,449	76,132	0,000
Error experimental	0,071	12	0,006		
Total	980,136	24			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados reportan diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao), factor B (tipo de fermentación), factor C (tipo de secado) en la interacción AB (variedad de cacao+ tipo de fermentación), y ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado).

Por otro lado, no se encontró diferencia, en la interacción BC (tipo de fermentación +método de secado) y réplicas, en este último se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos (tabla 23).

**Tabla 23***Análisis de varianza para: acidez*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	0,507	1	0,507	231,943	0,000
B: Fermentación	0,800	2	0,400	182,957	0,000
C: Secado	2,384	1	2,384	1090,131	0,000
D: Réplicas	0,002	1	0,002	1,040	0,330
Interacciones					
A * B	0,088	2	0,044	20,223	0,000
A * C	0,001	1	0,001	0,682	0,427
B * C	0,081	2	0,041	18,530	0,000
A * B * C	1,070	2	0,535	244,626	0,000
Error	0,024	11	0,002		
Total	20,106	24			
Total corregido	4,960	23			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados indican diferencia significativa en el factor A (Tipo de cacao), factor B (tipo de fermentación), factor C (método de secado), en la interacción AB (variedad de cacao+ tipo de fermentación), BC (tipo de fermentación +tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado) y ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). No se encontró diferencia en el factor A (variedad de cacao) y réplicas, por lo que se constató que existió normalidad para la toma de datos (Tabla 24).

**Tabla 24***Análisis de varianza para: grasa*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	188,221	1	188,221	119,920	0,000
B: Fermentación	29,957	2	14,978	9,543	0,003
C: Secado	329,279	1	329,279	209,790	0,000
D: Replicas	1,94	1	1,94	1,26	0,2847
Interacciones					
AB	14,592	2	7,296	4,648	0,032
AC	17,464	1	17,464	11,127	0,006
BC	199,433	2	99,717	63,532	0,000
ABC	343,909	2	171,955	109,556	0,000
Error experimental	18,835	12	1,570		
<b>Total</b>	<b>28629,848</b>	<b>24</b>			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Como resultado tenemos diferencia significativa en el factor A (Tipo de cacao), factor B (tipo de fermentación), en la interacción AB (variedad de cacao+ tipo de fermentación), BC (tipo de fermentación +tipo de secado). Por otro lado, no se encontró diferencia en el factor C (tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado) y en las repeticiones en este último se demuestra que existió normalidad al momento de tomar los datos para el análisis estadístico (tabla 25).

**Tabla 25***Análisis de varianza para: proteína*

Fuente de variación	Suma	GL	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	cuadrados		medio		
A: Variedad	3,636	1	3,636	30,094	0,000
B: Fermentación	5,235	2	2,618	21,662	0,000
C: Secado	0,321	1	0,321	2,657	0,129
D: Réplicas	0,45	1	0,45	4,96	0,0878
Interacciones					
AB	5,750	2	2,875	23,794	0,000
AC	0,117	1	0,117	0,969	0,344
BC	12,190	2	6,095	50,442	0,000
ABC	0,921	2	0,461	3,811	0,052
Error experimental	1,450	12	0,121		
Total	404,350	24			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

De acuerdo con los resultados se encontró diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao) y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación). Por otro lado, no se encontró diferencia para el factor B (tipo de fermentación), factor C (método de secado), BC (tipo de fermentación +tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). En las réplicas en este último se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad al momento de tomar los datos para su posterior análisis estadístico (tabla 26).

**Tabla 26***Análisis de varianza para: humedad*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	22,681	1	22,681	26,301	<b>0,000</b>
B: Fermentación	4,700	2	2,350	2,725	0,106
C: Secado	0,975	1	0,975	1,130	0,309
D: Réplicas	1,99	1	1,99	2,63	0,1334
Interacciones					
AB	11,126	2	5,563	6,451	<b>0,013</b>
AC	2,705	1	2,705	3,137	0,102
BC	0,115	2	0,058	,067	0,936
ABC	3,566	2	1,783	2,067	0,169
Error	10,348	12	0,862		
Total	174,173	24			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados obtenidos muestran diferencia significativa en el factor B (tipo de fermentación), y en la interacción AC (Variedad de cacao+ método de secado), por otro lado, no se encontró diferencia en el factor A (variedad de cacao). factor C (método de secado), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación), BC (tipo de fermentación +tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado), y réplicas en este último no existe diferencia significativa debido a que existió normalidad en la toma de datos (tabla 27).

**Tabla 27***Análisis de varianza para: ceniza*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	0,014	1	0,014	0,188	0,672
B: Fermentación	6,255	2	3,128	42,884	0,000
C: Secado	0,237	1	0,237	3,253	0,096
D: Réplicas	0,0037	1	0,0037	0,05	0,8329
Interacciones					
AB	0,403	2	0,201	2,761	0,103
AC	0,896	1	0,896	12,290	0,004
BC	0,213	2	0,107	1,463	0,270
ABC	0,149	2	0,074	1,019	0,390
Error	0,875	12	0,073		
Total	100,763	24			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados muestran diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao), factor B (tipo de fermentación), factor C (método de secado), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación), AC (Variedad de cacao+ método de secado), y BC (tipo de fermentación +tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). Por otro lado, no se encontró diferencia en las réplicas, se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos (tabla 28).

**Tabla 28***Análisis de varianza para: Índice de semilla*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	1,302	1	1,302	16338,172	0,000
B: Fermentación	0,092	2	0,046	577,940	0,000
C: Secado	0,105	1	0,105	1323,228	0,000
D: Réplicas	0,00051	1	0,00051	12,82	0,43
Interacciones					
AB	0,555	2	0,278	3483,980	0,000
AC	0,009	1	0,009	117,587	0,000
BC	0,015	2	0,007	93,773	0,000
ABC	0,013	2	0,006	79,553	0,000
Error	0,001	12	7,970E-5		
Total	56,963	24			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

### **Resultados de análisis de varianza para las variables dependientes del perfil sensorial del producto final de cacao**

Los datos obtenidos fueron evaluados en la escala de calidad del 0-10, por lo cual en el análisis de varianza realizado para la variable dependiente aroma (tabla 29), se encontró diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao), factor B (tipo de fermentación), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación). Así mismo, no se encontró diferencia en el factor C (método de secado), y en la interacción en la interacción AC (Variedad de cacao+ método de secado), y BC (tipo de fermentación +tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). Por otro lado, no se encontró diferencia en las réplicas en este último se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos.

**Tabla 29***Análisis de varianza para: Aroma*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	25,208	1	25,208	18,383	0,000
B: Fermentación	27,950	2	13,975	10,191	0,000
C: Secado	0,408	1	0,408	0,298	0,586
D: Réplicas	21,01	9	2,33	1,82	0,0741
Interacciones					
AB	25,017	2	12,508	9,122	0,000
AC	4,408	1	4,408	3,215	0,076
BC	8,017	2	4,008	2,923	0,058
ABC	3,817	2	1,908	1,392	0,253
Error	148,100	108	1,371		
Total	5751,000	120			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados encuentran diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao), factor B (tipo de fermentación). Así mismo, no se encontró diferencia en el factor C (método de secado), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación), AC (Variedad de cacao+ método de secado), y BC (tipo de fermentación +tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). Por otro lado, no se encontró diferencia en las repeticiones por lo que se puede asumir que en el alza de datos existió normalidad (tabla 30).

**Tabla 30***Análisis de varianza para: acidez*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	9,075	1	9,075	5,278	0,024
B: Fermentación	15,817	2	7,908	4,599	0,012
C: Secado	0,675	1	0,675	0,393	0,532
D: Réplicas	44,91	9	4,99	3,51	0,882
Interacciones					
AB	3,650	2	1,825	1,061	0,350
AC	3,008	1	3,008	1,750	0,189
BC	1,950	2	0,975	0,567	0,569
ABC	4,117	2	2,058	1,197	0,306
Error	185,700	108	1,719		
Total	6517,000	120			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados muestran diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao), factor B (tipo de fermentación), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación). Así mismo, no se encontró diferencia en el factor C (método de secado), AC (Variedad de cacao + método de secado), BC (tipo de fermentación +tipo de secado), AC (tipo de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). Por otro lado, no se encontró diferencia en las réplicas en este último se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos (tabla 31).

**Tabla 31***Análisis de varianza para: amargor*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	72,075	1	72,075	25,767	0,000
B: Fermentación	60,000	2	30,000	10,725	0,000
C: Secado	8,008	1	8,008	2,863	0,094
D: Réplicas	83,51	9	9,28	4,20	0,107
Interacciones					
AB	45,600	2	22,800	8,151	0,001
AC	4,408	1	4,408	1,576	0,212
BC	6,467	2	3,233	1,156	0,319
ABC	9,267	2	4,633	1,656	0,196
Error	302,100	108	2,797		
Total	5617,000	120			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados obtenidos indican diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao), factor B (tipo de fermentación), factor C (método de secado), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación), AC (Variedad de cacao+ método de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado).

Así mismo, no se encontró diferencia en la interacción BC (tipo de fermentación +tipo de secado). No se encontró diferencia en las réplicas en este último se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos (tabla 32).

**Tabla 32**

*Análisis de varianza para: astringencia*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	151,875	1	151,875	55,734	0,000
B: Fermentación	160,017	2	80,008	29,361	0,000
C: Secado	37,408	1	37,408	13,728	0,000
D: Réplicas	76,01	9	8,45	3,83	0,351
Interacciones					
AB	37,850	2	18,925	6,945	0,001
AC	25,208	1	25,208	9,251	0,003
BC	1,117	2	0,558	0,205	0,815
ABC	58,817	2	29,408	10,792	0,000
Error	294,300	108	2,725		
Total	4815,000	120			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados presentan diferencia significativa en el factor B (tipo de fermentación). Asimismo, no se encontró diferencia en el factor A (variedad de cacao), factor C (método de secado), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación). en la interacción en la interacción AC (Variedad de cacao+ método de secado), en la interacción BC (tipo de fermentación +tipo de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). A su vez no se encontró diferencia en las réplicas en este último se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos (tabla 33).

**Tabla 33***Análisis de varianza para: sabor*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	4,800	1	4,800	2,361	0,127
B: Fermentación	24,267	2	12,133	5,967	0,003
C: Secado	1,633	1	1,633	0,803	0,372
D: Réplicas	89,37	9	9,63	7,55	0,132
Interacciones					
AB	12,200	2	6,100	3,000	0,054
AC	2,700	1	2,700	1,328	0,252
BC	3,267	2	1,633	0,803	0,451
ABC	1,400	2	0,700	0,344	0,710
Error	219,600	108	2,033		
Total	5928,000	120			

*Nota.* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Los resultados obtenidos indican diferencia significativa en el factor A (variedad de cacao), y en la interacción AB (variedad de cacao+ método de fermentación).

Así mismo, no se encontró diferencia en el factor B (tipo de fermentación), factor C (método de secado), en la interacción AC (Variedad de cacao+ método de secado), BC (tipo de fermentación +tipo de secado), ABC (variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado). A su vez no se encontró diferencia en las réplicas por lo cual se puede asumir que al no existir diferencia significativa existió normalidad en la toma de datos (tabla 34).

**Tabla 34***Análisis de varianza para: pos gusto*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Variedad	4,033	1	4,033	1,933	0,167
B: Fermentación	80,317	2	40,158	19,242	0,000
C: Secado	2,133	1	2,133	1,022	0,314
D: Réplicas	29,97	9	3,33	1,69	0,102
Interacciones					
AB	16,517	2	8,258	3,957	0,022
AC	4,800	1	4,800	2,300	0,132
BC	3,717	2	1,858	0,890	0,413
ABC	1,050	2	0,525	0,252	0,778
Error	225,400	108	2,087		
Total	6190,000	120			

*Nota:* Valores en color rojo presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

**Resultados de la influencia de las variedades de cacao nacional y CCN51 (Factor A) sobre las características fisicoquímicas del producto final de cacao.**

En el análisis para la observación de la influencia de las variedades cacao nacional y CCN51 sobre las variables dependientes pH, acidez titulable, humedad, grasa, proteína, ceniza e índice de semilla (tabla 35). Se puede constatar que las variedades no presentan diferencia significativa en el pH y ceniza (figura 7, a, e). A su vez las variedades si influyen en los resultados obtenidos para humedad, grasa, proteína e índice de semilla.

**Tabla 35**

*Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor A (variedad de cacao)*

<b>Factor A</b>	<b>pH</b>	<b>Acidez titulable</b>	<b>Humedad</b>	<b>Grasa</b>	<b>Proteína</b>	<b>Ceniza</b>	<b>Índice de semilla</b>
A <sub>0</sub> :	6,38 <sup>A</sup> ±0,0	0,94 <sup>B</sup> ±0,0	3,19 <sup>B</sup> ±0,2	36,64 <sup>B</sup> ±0,3	4,34 <sup>B</sup> ±0,1	1,98 <sup>A</sup> ±0,0	1,28 <sup>A</sup> ±0,002
Naciona	2	7	7	6	0	8	6
I							
A <sub>1</sub> :	6,39 <sup>A</sup> ±0,0	0,65 <sup>A</sup> ±0,0	1,24 <sup>A</sup> ±0,2	31,04 <sup>A</sup> ±0,3	3,56 <sup>A</sup> ±0,1	1,93 <sup>A</sup> ±0,0	1,74 <sup>B</sup> ±0,002
CCN51	2	7	7	6	0	8	6

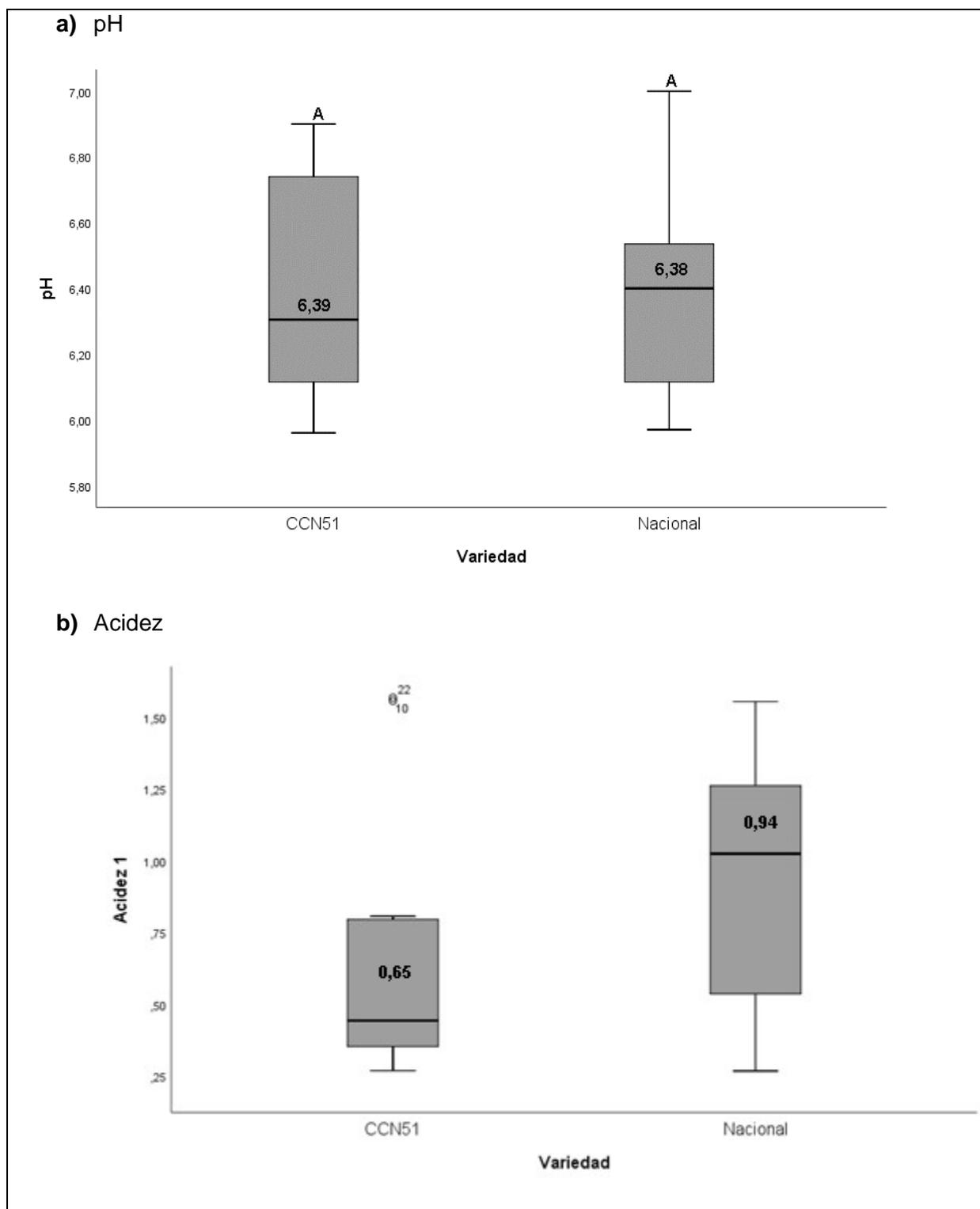
*Nota:* Los resultados corresponden a medias ± Desv.Est. Los datos con letras en común no presentan diferencia significativa (p>0,05).

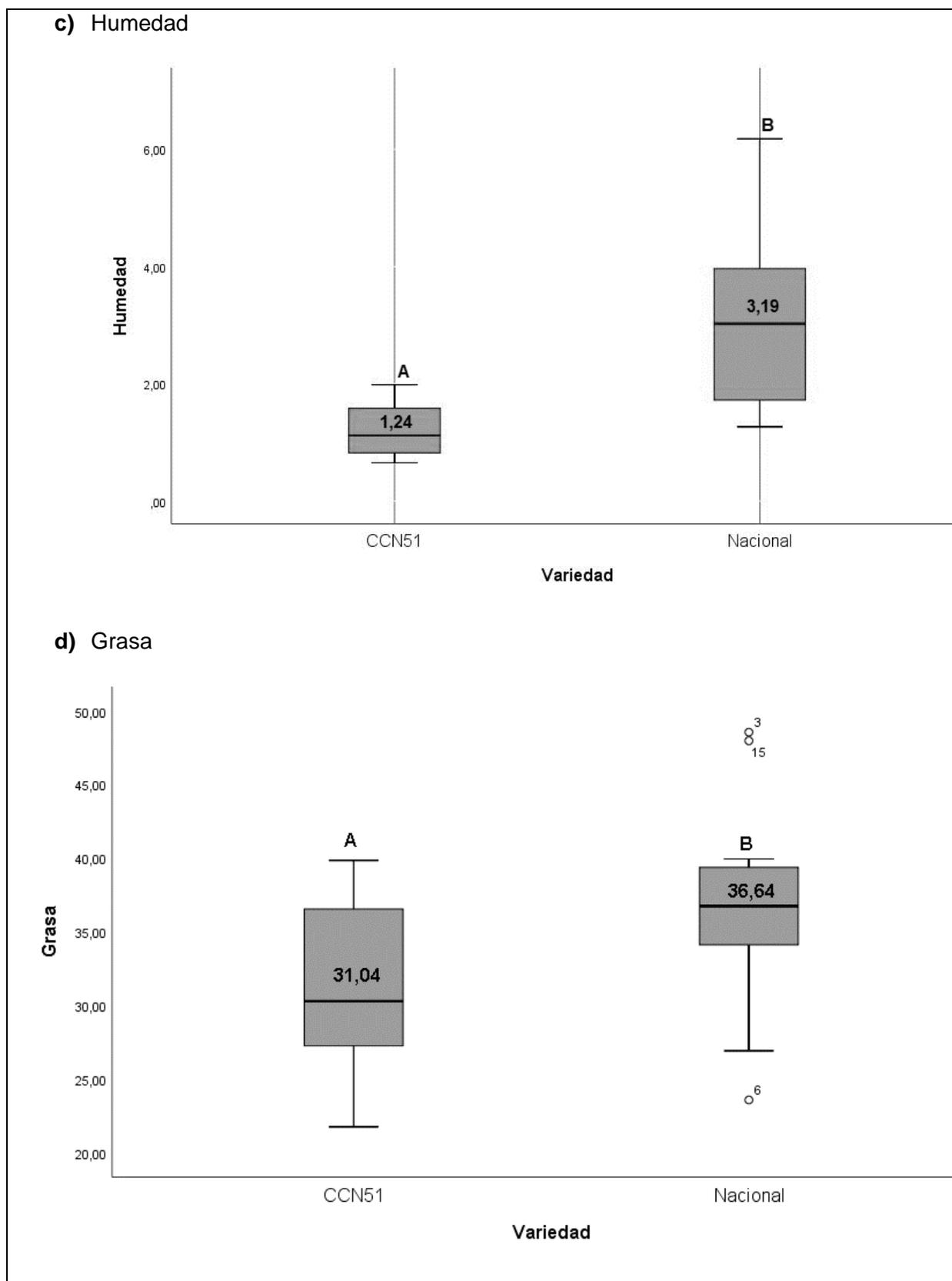
Con respecto a humedad, (figura 7c), se observa dos grupos independientes, presentando el valor más alto el grupo B, cacao nacional (a<sub>0</sub>) con 3,19%, con respecto al grupo A cacao CCN51 (a<sub>1</sub>) con 1,24%. En porcentaje de grasa (figura 7d), se aprecia dos grupos, con el valor más alto, grupo B. cacao nacional (a<sub>0</sub>) con 36,64% y un valor menor el grupo A en la variedad de cacao CCN51(a<sub>1</sub>) con 31,04 %. En la variable de proteína cruda (figura 7e) se aprecia dos grupos independientes siendo el Grupo B cacao nacional (a<sub>0</sub>) con 4,34% presentando mayor cantidad de compuestos nitrogenados, frente al Grupo B cacao CCN51(a<sub>1</sub>) con 3,56%. En la variable índice de semilla (figura 7g), igualmente se presenta dos grupos autónomos existiendo el grupo B cacao CCN51 (a<sub>1</sub>) con 1,74% mayor valor de índice de semilla frente al grupo A cacao nacional (a<sub>0</sub>) con 1,28%.

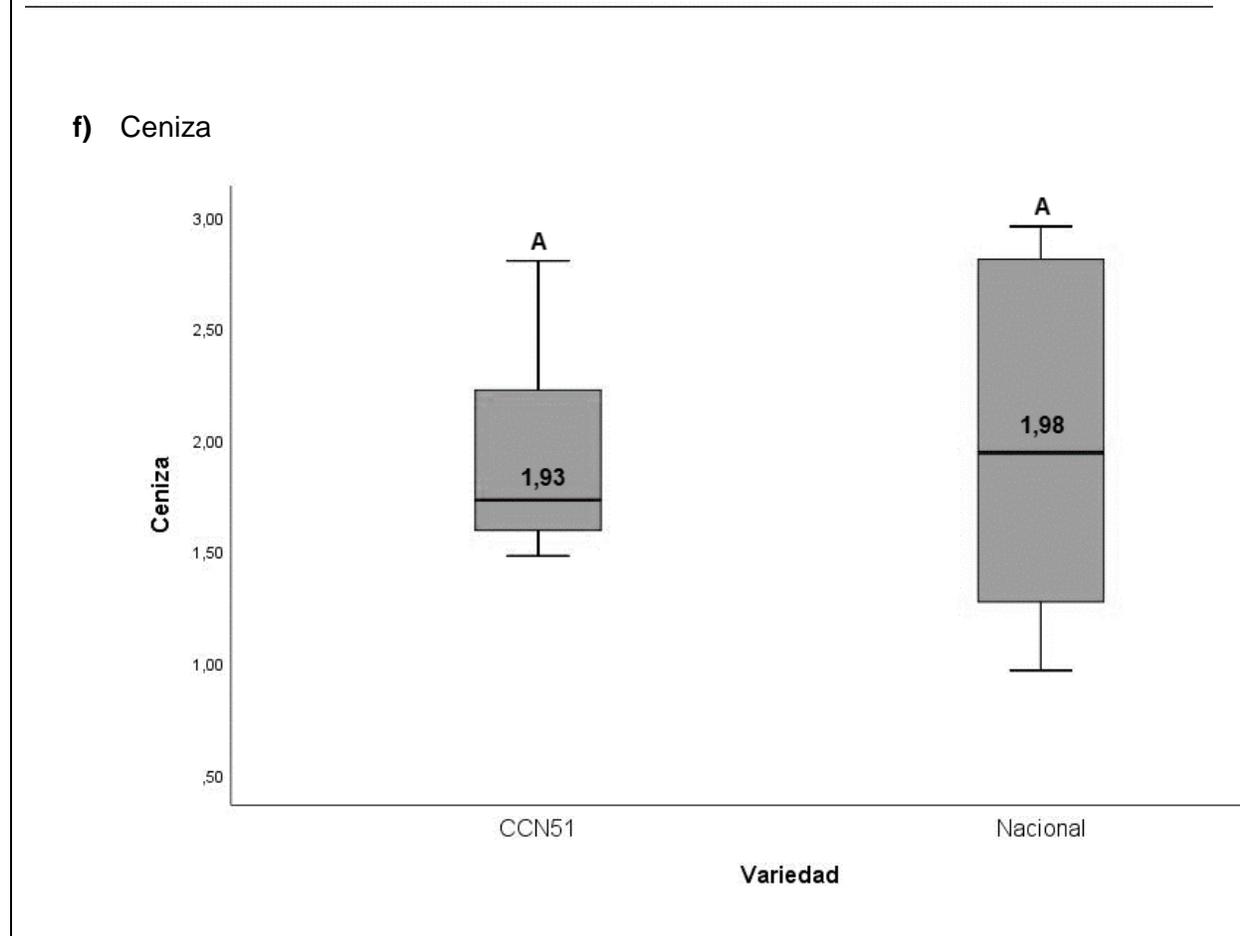
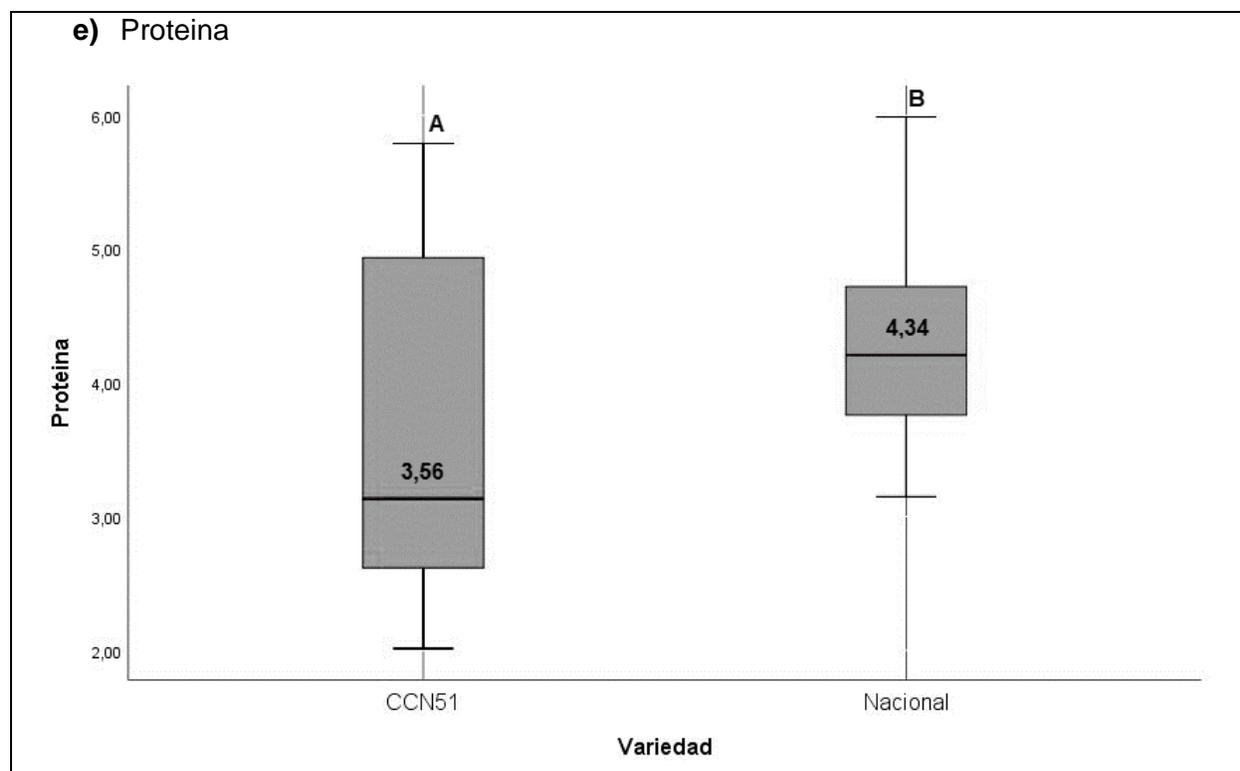
En acidez titulable (Fig. 7b), se formaron dos grupos distintos: el grupo A con el valor más alto de cacao nacional (a<sub>0</sub>) de 0,94 y el grupo B con el valor más bajo de cacao CCN51 (a<sub>1</sub>) de 0,65.

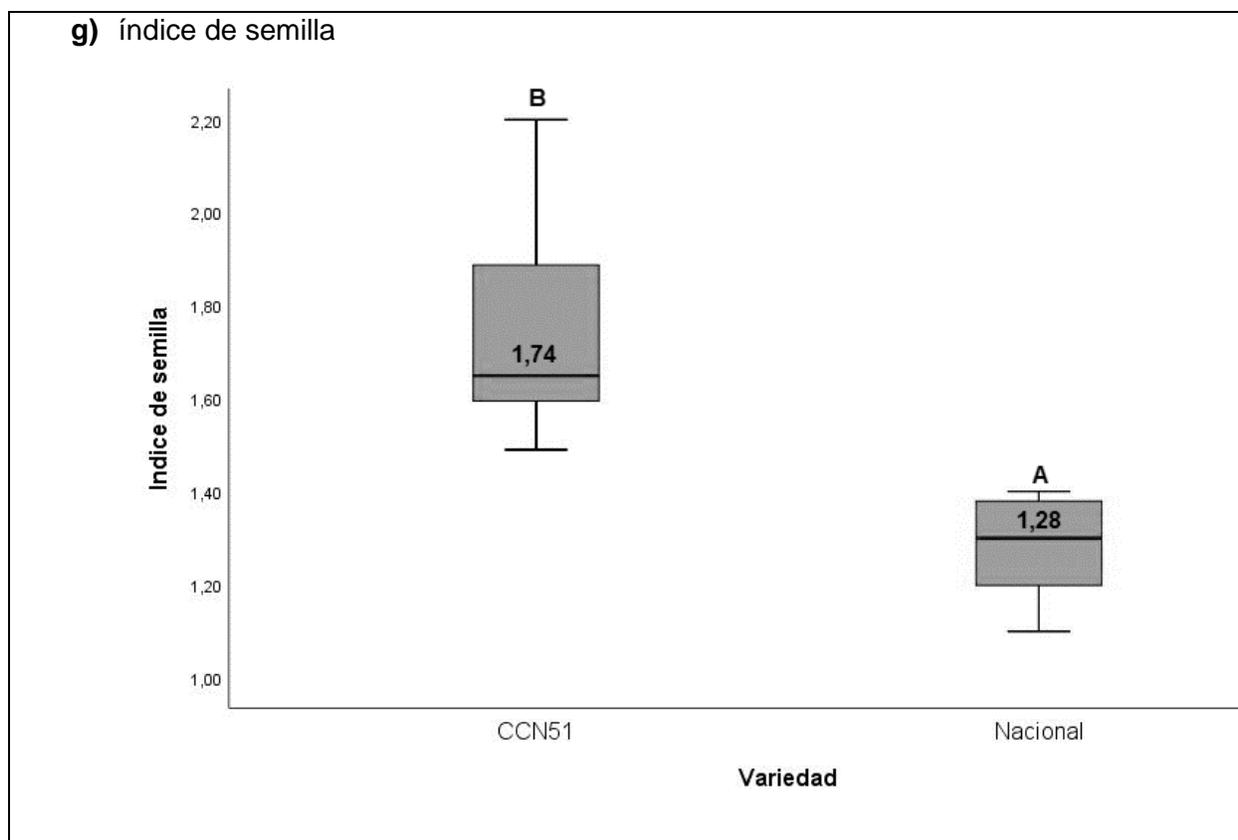
### **Figura 7**

*Resultados de las variables fisicoquímicas obtenidas del factor A (variedad de cacao)*









*Nota.* Gráficos elaborados mediante IBM SPSS Statistics versión 28.0.1.1.

### **Resultados a la influencia del tipo de fermentación yute, cascada y controlada (Factor B) sobre las características fisicoquímicas.**

En un análisis de los efectos de la fermentación: yute, cascada y controlada sobre las variables: pH, acidez titulable, humedad, grasa, proteína, ceniza y el índice de semillas. Como se muestra en la Tabla 36, no existen grupos independientes para la variable humedad (Fig. 8b). Por otro lado, se pudo asegurar que los tipos de fermentación difieren significativamente en cuanto a pH, acidez titulable, grasa, proteína, ceniza e índice de semilla.

**Tabla 36**

*Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor B (tipo de fermentación)*

<b>Factor B</b>	<b>pH</b>	<b>Acidez titulable</b>	<b>Humedad</b>	<b>Grasa</b>	<b>Proteína</b>	<b>Ceniza</b>	<b>Índice de semilla</b>
B <sub>0</sub> : Yute	6,42 <sup>B</sup> ±0,03	1,05 <sup>B</sup> ±0,09	2,84 <sup>A</sup> ±0,33	32,35 <sup>A</sup> ±0,44	4,51 <sup>C</sup> ±0,12	2,68 <sup>B</sup> ±0,10	1,50 <sup>B</sup> ±0,0032
B <sub>1</sub> : Cascada	6,55 <sup>C</sup> ±0,03	0,68 <sup>A</sup> ±0,09	1,98 <sup>A</sup> ±0,33	34,15 <sup>B</sup> ±0,44	3,97 <sup>B</sup> ±0,12	1,61 <sup>A</sup> ±0,10	1,45 <sup>A</sup> ±0,0032
B <sub>2</sub> : Controlada	6,18 <sup>A</sup> ±0,03	0,65 <sup>A</sup> ±0,09	1,84 <sup>A</sup> ±0,33	35,03 <sup>B</sup> ±0,44	3,37 <sup>A</sup> ±0,12	1,57 <sup>A</sup> ±0,10	1,59 <sup>C</sup> ±0,0032

*Nota.* Los resultados corresponden a medias ± Desv.Est. Los datos con letras en común no presentan diferencia significativa ( $p>0,05$ ).

En cuanto al pH (Fig. 8a), se pueden ver tres grupos distintos, mostrando el valor más bajo para el grupo A, 6,18 en fermentación controlada (b<sub>2</sub>), y por lo tanto el valor más alto para el grupo C, 6,55 en fermentación en cascada (b<sub>1</sub>). En el porcentaje de humedad del producto final no existió grupos independientes por lo tanto no hay diferencia significativa.

En los resultados obtenidos por porcentaje de grasa (Fig. 8d), se observaron dos grupos independientes, el grupo B alcanzó el mayor valor en fermentación controlada (b<sub>2</sub>) con 35,03%, mientras que el grupo A fermentado en sacos de yute (b<sub>0</sub>), formó la relación más baja con 32,35%.

Los efectos obtenidos en cuanto a la variable proteína cruda en la muestra (figura 8e)., se destacó tres grupos independientes mostrando el mayor porcentaje el grupo C, fermentación mediante el método sacos de yute (b<sub>0</sub>) con 4,51%, en cambio el grupo A presento un menor valor en fermentación controlada (b<sub>2</sub>) de 3,37%.

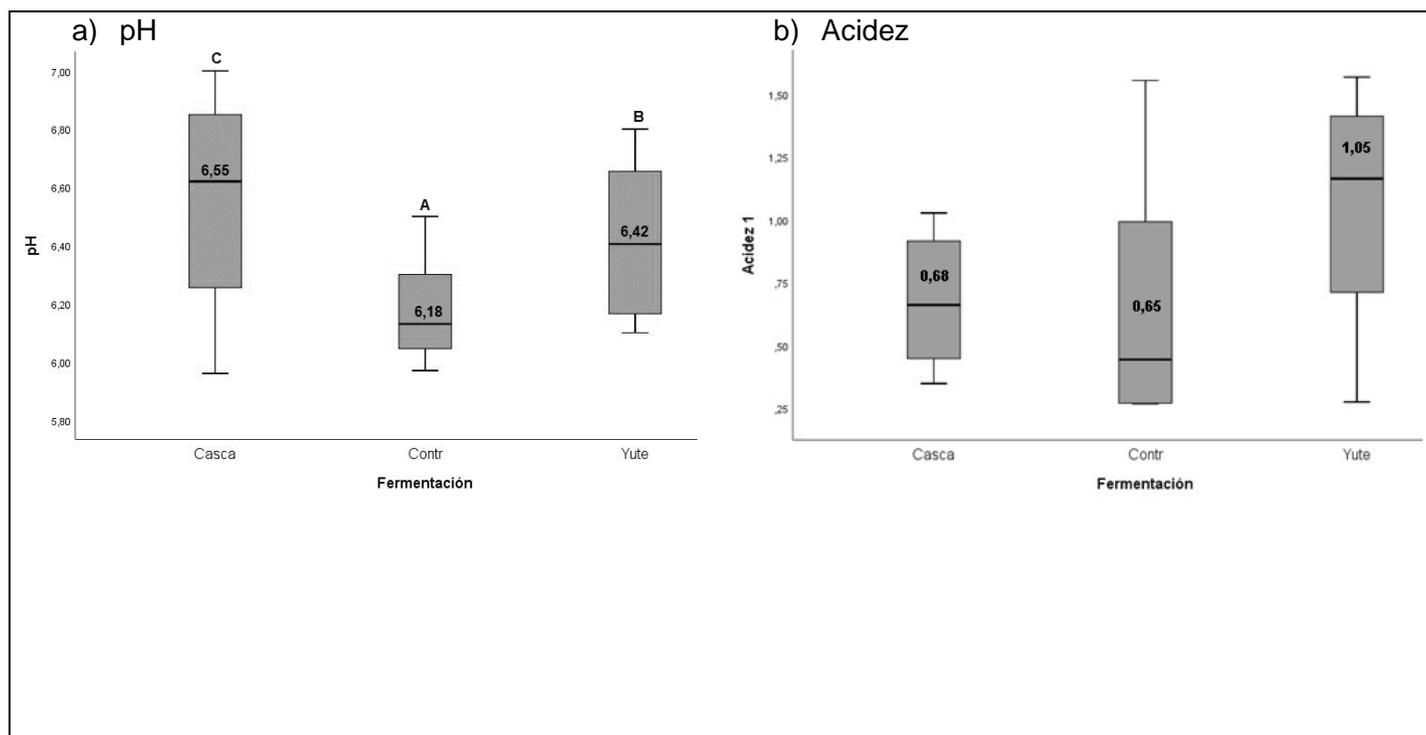
Se obtuvieron dos grupos autónomos en el contenido total de cenizas del producto final (Fig. 8f), el grupo B fermentación en sacos de yute (b<sub>0</sub>) tuvo el valor más alto de 2.68%, mientras que el grupo A, fermentación controlada (b<sub>1</sub>) mostró el valor más bajo en un 1,57%.

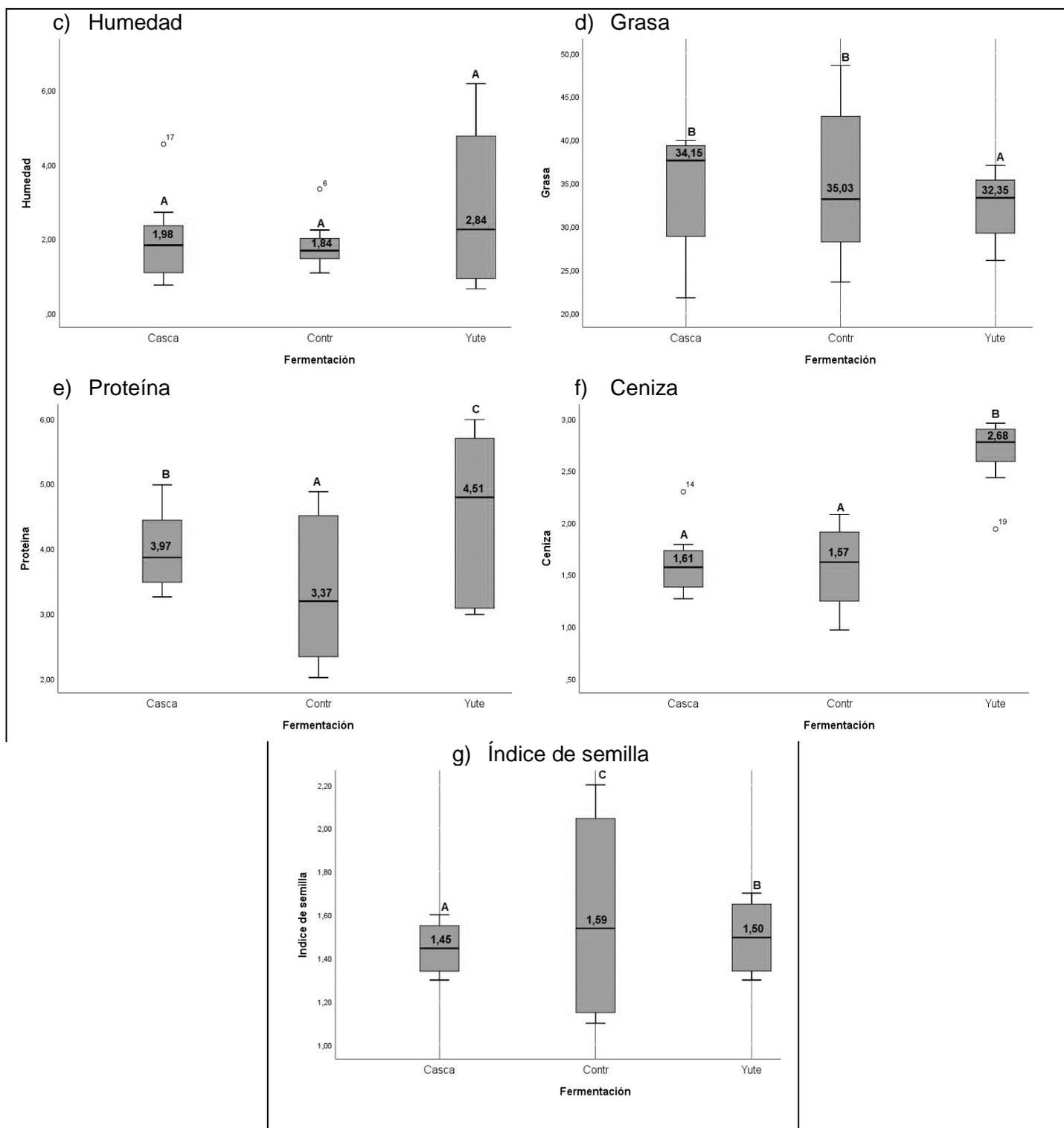
En los resultados de las 100 semillas fermentadas y secas, se observó tres grupos independientes en la influencia del tipo de fermentación, donde el grupo C alcanzó un mayor valor de 1,59 en la fermentación controlada (b<sub>2</sub>) y el grupo A, con menor valor de 1,45 en la fermentación en cascada (b<sub>1</sub>) (figura 8g).

En la acidez titulable del producto final se reportó dos grupos independientes, siendo el grupo A de la fermentación controlada (b<sub>2</sub>) con menor valor de 0,65, en cambio, el grupo B la fermentación en sacos de yute (b<sub>0</sub>) consiguió el mayor valor con 1,05 (figura 8b).

### Figura 8.

*Influencia del tipo de fermentación (factor B): Yute, cascada y controlada sobre las variables dependientes fisicoquímicas*





Nota. Gráficos elaborados mediante IBM SPSS Statistics versión 28.0.1.1.

### Resultados a la influencia del tipo de secado ambiental y artificial (Factor C) sobre las características fisicoquímicas

Como se muestra en la tabla 37, se analizó el método de secado (factor C) junto con el efecto de esta variable independiente sobre las variables dependientes pH, acidez titulable, humedad, grasa, proteína, ceniza e índice de semilla. Por otro lado, se observaron grupos independientes para pH, grasa e índice de semilla, mientras que para humedad, proteína y ceniza no se observaron diferencias significativas (Fig. 9, c, e, f).

**Tabla 37.**

*Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor C (tipo de secado)*

Factor C	pH	Acidez titulable	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Índice de semilla
C <sub>0</sub> : Ambiente	6,45 <sup>B</sup> ±0,02	0,48 <sup>A</sup> ±0,07	2,02 <sup>A</sup> ±0,27	37,55 <sup>B</sup> ±0,36	3,84 <sup>A</sup> ±0,10	2,05 <sup>A</sup> ±0,08	1,58 <sup>B</sup> ±0,0026
C <sub>1</sub> : Artificial	6,32 <sup>A</sup> ±0,02	1,11 <sup>B</sup> ±0,07	2,42 <sup>A</sup> ±0,27	30,14 <sup>A</sup> ±0,36	4,07 <sup>A</sup> ±0,10	1,86 <sup>A</sup> ±0,08	1,45 <sup>A</sup> ±0,0026

*Nota.* Los resultados corresponden a medias ± Desv.Est. Los datos con letras en común no presentan diferencia significativa ( $p>0,05$ ).

El efecto del método de secado en los valores de pH (Fig. 9a) se formaron dos grupos independientes, el grupo B tuvo el valor más alto con secado ambiental (c<sub>0</sub>) de 6.45 en comparación con el grupo A, secado artificial (c<sub>1</sub>) con 6.32.

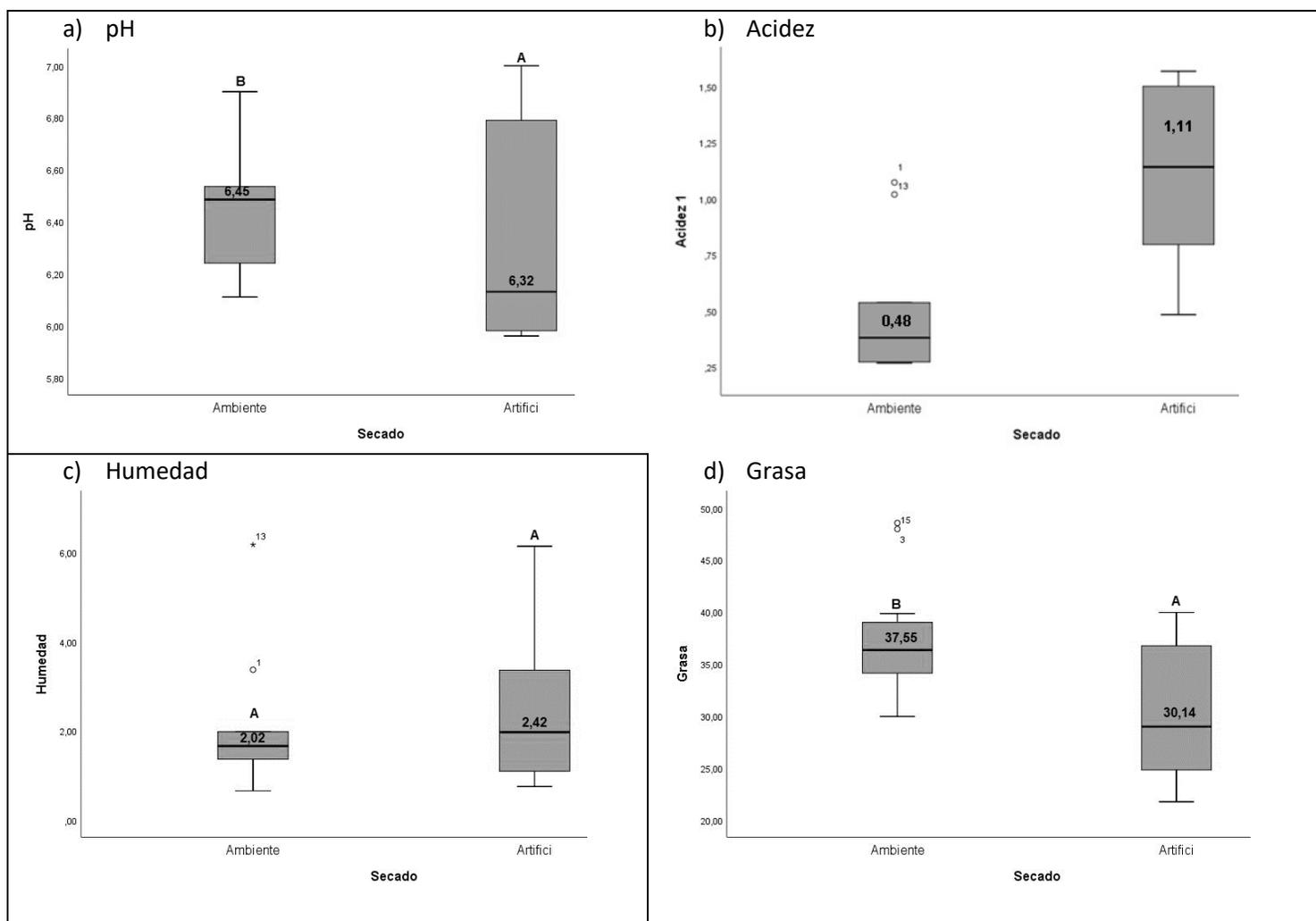
Los resultados del método de secado si influye en la acidez titulable (figura 9b), donde se formaron dos grupos independientes, mostrando el menor valor el grupo A, secado ambiental (c<sub>0</sub>) con 0,48, frente al grupo B secado artificial (a<sub>1</sub>) con mayor acidez de 1,11.

En el porcentaje de grasa (figura 9d), se presenta dos grupos independientes siendo el grupo B con el método de secado ambiental ( $c_0$ ) muestra mayor cantidad con 37,55%, mientras que en el secado artificial ( $c_1$ ) 30,14%.

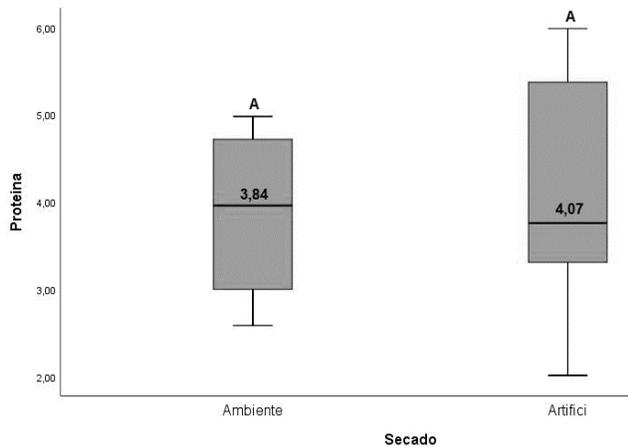
En el índice de semilla (figura 9g), se observó dos grupos autónomos el grupo B método de secado ambiental ( $c_0$ ) presentó un valor mayor a 1g obteniéndose 1,58, por otra parte, el grupo A el secado artificial ( $c_1$ ) presentó un menor valor de 1,45.

### Figura 9.

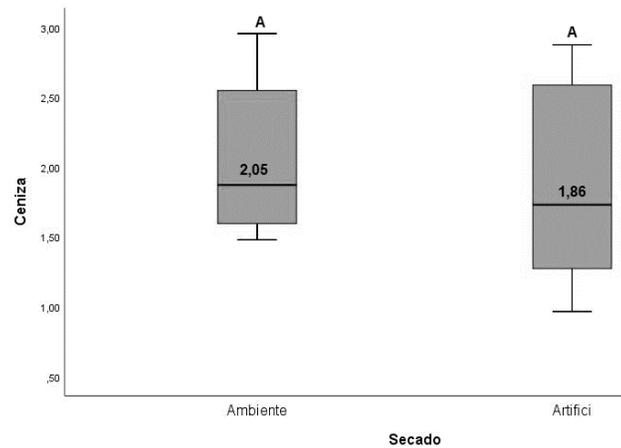
*Influencia del tipo del secado (factor C): ambiental y artificial sobre las variables dependientes fisicoquímicas*



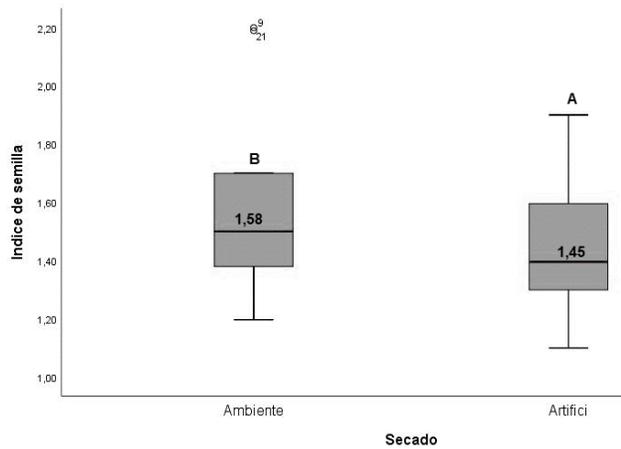
e) Proteína



f) Ceniza



g) Índice de semilla



Resultados de la interacción ABC de los análisis fisicoquímicos del producto final.

**Tabla 38.**

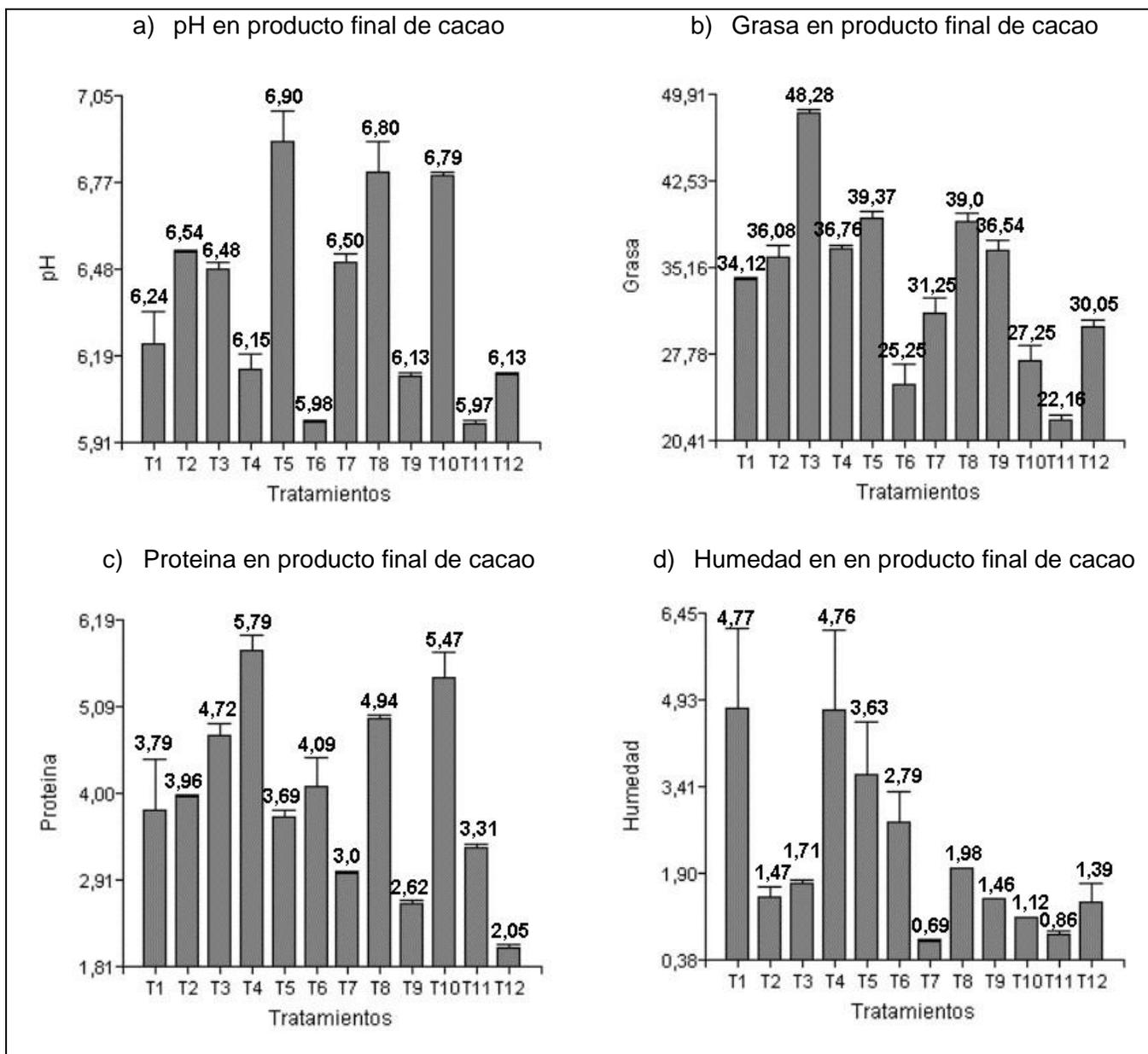
*Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 para la interacción ABC (Variedad de cacao, tipo de fermentación, tipo de secado)*

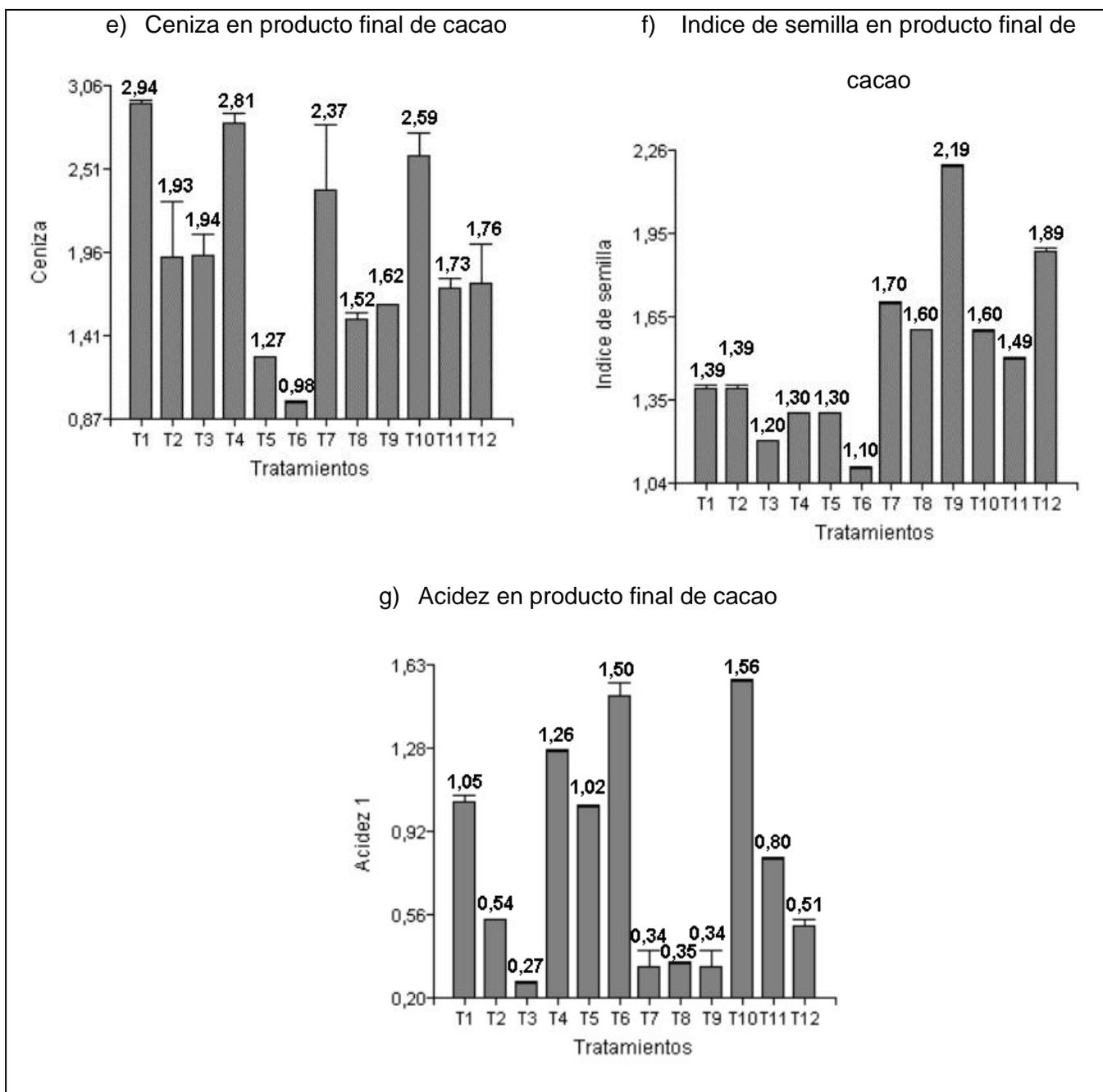
Tratamiento	Interacción	Descripción	pH	Acidez	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	I.semilla
T <sub>1</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	Nacional+ Yute+ Ambiente	6,24 <sup>ABC</sup>	1,05 <sup>E</sup>	4,77 <sup>A</sup>	34,12 <sup>DEF</sup>	3,79 <sup>BCD</sup>	2,94 <sup>E</sup>	1,39 <sup>D</sup>
T <sub>2</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	Nacional+ Cascada +Ambiente	6,54 <sup>CD</sup>	0,54 <sup>C</sup>	1,47 <sup>A</sup>	36,08 <sup>EF</sup>	3,96 <sup>BCDE</sup>	1,93 <sup>ABCDE</sup>	1,39 <sup>D</sup>
T <sub>3</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>2</sub> c <sub>0</sub>	Nacional+ Controlada+ Ambiente	6,48 <sup>BCD</sup>	0,27 <sup>A</sup>	1,71 <sup>A</sup>	48,28 <sup>G</sup>	4,72 <sup>CDEF</sup>	1,94 <sup>ABCDE</sup>	1,20 <sup>B</sup>
T <sub>4</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	Nacional+ Yute+ Artificial	6,15 <sup>AB</sup>	1,26 <sup>F</sup>	4,76 <sup>A</sup>	36,76 <sup>EF</sup>	5,79 <sup>F</sup>	2,81 <sup>DE</sup>	1,30 <sup>C</sup>
T <sub>5</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	Nacional+ Cascada+ Artificial	6,90 <sup>E</sup>	1,02 <sup>E</sup>	3,63 <sup>A</sup>	39,37 <sup>F</sup>	3,69 <sup>BCD</sup>	1,27 <sup>AB</sup>	1,30 <sup>C</sup>
T <sub>6</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	Nacional+ Controlada+ Artificial	5,98 <sup>A</sup>	1,50 <sup>G</sup>	2,79 <sup>A</sup>	25,25 <sup>AB</sup>	4,09 <sup>BCDE</sup>	0,98 <sup>A</sup>	1,10 <sup>A</sup>
T <sub>7</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	CCN51+Yute+ Ambiente	6,50 <sup>CD</sup>	0,34 <sup>AB</sup>	0,69 <sup>A</sup>	31,25 <sup>CDE</sup>	3,00 <sup>AB</sup>	2,37 <sup>BCDE</sup>	1,70 <sup>G</sup>
T <sub>8</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	CCN51+ Cascada+ Ambiente	6,80 <sup>DE</sup>	0,35 <sup>ABC</sup>	1,98 <sup>A</sup>	39,00 <sup>F</sup>	4,94 <sup>DEF</sup>	1,52 <sup>ABC</sup>	1,60 <sup>F</sup>
T <sub>9</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>0</sub>	CCN51+Controlada+ Ambiente	6,13 <sup>A</sup>	0,34 <sup>AB</sup>	1,46 <sup>A</sup>	36,54 <sup>EF</sup>	2,62 <sup>AB</sup>	1,62 <sup>ABCD</sup>	2,19 <sup>I</sup>
T <sub>10</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	CCN51+ Yute+ Artificial	6,79 <sup>D</sup>	1,56 <sup>G</sup>	1,12 <sup>A</sup>	27,25 <sup>ABC</sup>	5,47 <sup>EF</sup>	2,59 <sup>CDE</sup>	1,60 <sup>F</sup>
T <sub>11</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	CCN51+ Cascada+ Artificial	5,97 <sup>A</sup>	0,80 <sup>D</sup>	0,86 <sup>A</sup>	22,16 <sup>A</sup>	3,31 <sup>ABC</sup>	1,73 <sup>ABCD</sup>	1,49 <sup>E</sup>
T <sub>12</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	CCN51+ Controlada+ Artificial	6,13 <sup>A</sup>	0,51 <sup>BC</sup>	1,39 <sup>A</sup>	30,05 <sup>BCD</sup>	2,05 <sup>A</sup>	1,76 <sup>ABCDE</sup>	1,89 <sup>H</sup>

**Resultados de la interacción ABC (Variedad de cacao+ tipo de fermentación+ método de secado)**

**Figura 10.**

*Interacciones de los tratamientos obtenidos de la diferencia de las medias del producto final de cacao. Tukey  $p < 0,05$*





En la figura 10. se aprecia los resultados de las interacciones ABC (Variedad de cacao + método de fermentación + tipo de secado) el cual se realizó con las comparaciones múltiples de Tukey  $p < 0,05$ .

Con relación al valor de pH del producto final, notando las diferencias significativas entre los tratamientos, se crearon cuatro grupos independientes, de los cuales el grupo D presentó el mayor valor (6,90), ubicado en el tratamiento 5 (a0b1c1) de cacao nacional con fermentación en cascada secado artificialmente, mientras que el grupo A, el tratamiento T11 (a1b1c1) cacao CCN51 fermentación en cascada secado artificial, respectivamente, mostró el valor de pH más bajo (5.97) (Fig. 10a).

Referente al porcentaje de grasa, se encontraron diferencias significativas, formando ocho grupos independientes, entre los cuales el grupo H, tratamiento T3 (a0b2c0) cacao nacional con fermentación controlada más secado al ambiente, presentó el mayor porcentaje de grasa de 48,28% en comparación con el grupo A, tratamiento T11 (a1b1c1) cacao CCN51 con fermentación en cascada y secado artificial tuvo un menor porcentaje de grasa 22,16% (Fig. 10b).

Se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al porcentaje de proteína bruta, formándose 6 grupos homogéneos, de los cuales el grupo F obtuvo el mayor valor de 5,79 % con el tratamiento T4 (a0b0c1) con la variedad nacional con fermentación en sacos de yute secados artificialmente. El grupo A, por su parte, obtuvo el resultado más bajo de 2.05% con el tratamiento T12 (a1b2c1) cacao CCN51 con una fermentación controlada con un proceso de secado artificial de (Fig. 10c).

De acuerdo con el porcentaje de humedad, no se encontró diferencia significativa en las medias de los tratamientos, estableciéndose un único grupo homogéneo A con valores promedio que rondan de 0,69 a 4,77 % (figura 10d)

En las cenizas totales, se encontró diferencia significativa en los tratamientos, estableciéndose cuatro grupos homogéneos, donde el grupo D, tratamiento T1 (a0b0c0) variedad de cacao nacional + fermentación en sacos de yute + secado ambiental presentó el

mayor valor de 2,94, en cambio el grupo A tratamiento T6 (a0b2c1) variedad nacional + fermentación controlada + secado artificial obtuvo un valor de 0,98 (figura 10e).

En cuanto al Índice de semilla, al establecer diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se establecieron nueve grupos independientes, donde el grupo I, se observó un mayor valor en el tratamiento T9 (a1b2c0) variedad de cacao CCN51+ método de fermentación controlado + secado ambiental con un valor de 2,19, en contra parte el grupo A obtuvo en el tratamiento T6 (a0b2c1) variedad de cacao + fermentación controlada + secado artificial obtuvo un menor valor con 1,10 (figura 10f).

En cuanto a la acidez titulable, al establecer diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se encontró 7 grupos independientes, donde el grupo A, observó un menor valor en el tratamiento T3 (a0b2c0) variedad de cacao nacional método de fermentación controlado + secado ambiental donde se ubicó un valor de 0,27, por otro lado, el grupo G, el tratamiento T10(a1b0c1) variedad de cacao CCN51+ fermentación en sacos de yute + secado artificial obtuvo un mayor valor con 1,56 (figura 10g).

### Resultados obtenidos en el análisis microbiológico de acuerdo con el método de fermentación

**Tabla 39.**

*Recuento microbiológico en el tipo de fermentación*

Tipo de fermentación	Análisis		
	Aerobios	Mohos	Levaduras
Sacos de Yute	$940 \times 10^{-4}$	$41 \times 10^{-4}$	$900 \times 10^{-4}$
Cajones en cascada	0	0	0
Controlada	$2 \times 10^{-6}$	0	0

*Nota.* Unidades de UFC.

## **Resultados a la influencia de las variedades de cacao nacional y CCN51 (Factor A) sobre las características sensoriales.**

Mediante el análisis de catación, se pueden detectar diferencias en la capacidad de los panelistas para discriminar entre muestras. Los resultados obtenidos de los paneles sensoriales descriptivos se analizaron con Statgraphics utilizando ANOVA multifactorial. Los datos obtenidos se expresan en escala de calidad (0-10).

En el Cuadro 40 se muestran los resultados correspondientes a la calidad de cada variable ensayada para el factor A (variedad de cacao).

En lo que corresponde a la categoría aroma, se encontró diferencia significativa entre las variedades, donde se obtuvo un grupo B, obteniendo una mayor puntuación  $a_0$ = cacao nacional con un promedio de 7,23 (bueno), en cambio el grupo A, con una menor puntuación  $a_1$ = cacao CCN51 con un promedio de 6,23 (regular).

En lo obtenido para la variable acidez obtuvieron mayor puntuación en calidad aquellas variables que en el momento de la degustación percibieron y describieron acidez cítrica o frutal y una menor puntuación si percibieron acidez como la de vinagre (acidez acética), es por ello, que se establecieron dos grupos independientes, grupo B para el factor  $a_0$ = cacao nacional obtuvo una puntuación de 7,23 situándose en la categoría de calidad en bueno, cambio el en el grupo A, factor  $a_1$ , obtuvo una puntuación de 6,32 ubicándolo en la categoría regular.

En lo relacionado al amargor y astringencia, cabe destacar que son características propias del cacao donde el nivel de intensidad es inverso a la calidad, por lo cual el factor  $A_0$ , obtuvo mayor puntuación en calidad (7,30 y 6,93, respectivamente), en cambio el factor  $A_1$ , se ubicó con una menor puntuación (5,75 y 4,68).

En lo que respecta a sabor y pos gusto se observó valores dentro del rango bueno para el factor  $A_0$  cacao nacional, en cambio el factor  $a_1$ =cacao CCN51, se encuentra dentro de lo regular en la escala de calidad.

**Tabla 40.**

*Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor A (variedad de cacao)*

<b>Factor</b>	<b>Aroma</b>	<b>Acidez</b>	<b>Amargor</b>	<b>Astringencia</b>	<b>Sabor</b>	<b>Pos gusto</b>
<b>A</b>						
A <sub>0</sub> : Nacional	7,23 <sup>B</sup> ±0,15	7,52 <sup>B</sup> ±0,17	7,30 <sup>B</sup> ±0,22	6,93 <sup>B</sup> ±0,21	7,07 <sup>A</sup> ±0,18	7,17 <sup>A</sup> ±0,19
A <sub>1</sub> : CCN51	6,32 <sup>A</sup> ±0,15	6,97 <sup>A</sup> ±0,17	5,75 <sup>A</sup> ±0,22	4,68 <sup>A</sup> ±0,21	6,67 <sup>A</sup> ±0,18	6,80 <sup>A</sup> ±0,19

*Nota.* Los resultados corresponden a medias ± Desv. Est. Los datos con letras en común no presentan diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).

**Resultados a la influencia del tipo de fermentación yute, cascada y controlada (Factor B) sobre las características sensoriales.**

La incidencia del tipo de fermentación en las variables evaluadas sensoriales (tabla 41) de acuerdo a la escala de calidad se observó dos grupo independientes, apreciándose que el grupo B presentó los mejores valores en fermentación controlada con adición de cultivo iniciador de *Lactiplantibacillus plantarum* para las variables dependientes aroma, acidez, amargor, astringencia sabor y pos gusto, siendo un solo grupo independiente (B) ubicándose en la escala de lo bueno, por otro lado no se encontró diferencia significativa en B<sub>0</sub> y B<sub>2</sub>, formándose un grupo homogéneo (A).

**Tabla 41.**

*Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor B (tipo de fermentación)*

<b>Factor B</b>	<b>Aroma</b>	<b>Acidez</b>	<b>Amargor</b>	<b>Astringencia</b>	<b>Sabor</b>	<b>Pos gusto</b>
B <sub>0</sub> : Yute	6,35 <sup>A</sup> ±0,19	7,05 <sup>A</sup> ±0,21	6,03 <sup>A</sup> ±0,26	4,80 <sup>A</sup> ±0,20	6,50 <sup>A</sup> ±0,23	6,25 <sup>A</sup> ±0,23
B <sub>1</sub> : Cascada	6,53 <sup>A</sup> ±0,19	6,93 <sup>A</sup> ±0,21	6,03 <sup>A</sup> ±0,26	5,20 <sup>A</sup> ±0,20	6,60 <sup>A</sup> ±0,23	6,58 <sup>A</sup> ±0,23
B <sub>2</sub> : Controlada	7,45 <sup>B</sup> ±0,19	7,23 <sup>B</sup> ±0,21	7,53 <sup>B</sup> ±0,26	7,43 <sup>B</sup> ±0,20	7,50 <sup>B</sup> ±0,23	8,13 <sup>B</sup> ±0,23

*Nota.* Los resultados corresponden a medias ± Desv.Est. Los datos con letras en común no presentan diferencia significativa ( $p>0,05$ ).

### **Resultados a la influencia del tipo de secado ambiental y artificial (Factor C) sobre las características sensoriales.**

Como se aprecia en la tabla 42, la incidencia del tipo de secado se reportó dos grupos independientes en astringencia donde el grupo B secado artificial C<sub>1</sub> obtuvo una mayor puntuación frente al grupo A secado ambiental C<sub>0</sub>, (6,37 y 5,25, respectivamente). Por otro lado, no se encontró diferencia significativa, para las demás variables evaluadas.

**Tabla 42.**

*Prueba de significancia de Tukey alfa =0,05 del Factor C (tipo de secado)*

<b>Factor C</b>	<b>Aroma</b>	<b>Acidez</b>	<b>Amargor</b>	<b>Astringencia</b>	<b>Sabor</b>	<b>Pos gusto</b>
C <sub>0</sub> : Ambiente	6,72 <sup>A</sup> ±0,15	7,17 <sup>A</sup> ±0,17	6,27 <sup>A</sup> ±0,22	5,25 <sup>A</sup> ±0,21	6,75 <sup>A</sup> ±0,18	6,85 <sup>A</sup> ±0,19
C <sub>1</sub> : Artificial	6,83 <sup>A</sup> ±0,15	7,32 <sup>A</sup> ±0,17	6,78 <sup>A</sup> ±0,22	6,37 <sup>B</sup> ±0,21	6,98 <sup>A</sup> ±0,18	7,12 <sup>A</sup> ±0,19

*Nota.* Los resultados corresponden a medias ± Desv.Est. Los datos con letras en común no presentan diferencia significativa ( $p>0,05$ ).

### **Resultados del nivel de calidad del análisis sensorial de cacao (aroma, acidez, amargor, astringencia, sabor, pos-gusto).**

En la figura 11 se observan los resultados expresados en un diagrama de araña para obtener a los mejores tratamientos en cuanto a las variables evaluadas en calidad, destacando a los mejores puntuados en una escala de 0 a 10.

En el perfil sensorial, con respecto a aroma (figura 11a), se situó con una mayor puntuación de 7,90 al tratamiento T3 ( $a_0b_2c_0$ ) cacao nacional+ fermentación controlada+ secado ambiental, en cambio se situó con una menor puntuación de 4,70 al tratamiento T7( $a_1b_0c_0$ ) cacao CCN51+ fermentación en yute+ secado ambiental.

En lo que respecta a la variable sensorial acidez (figura 11b), se situó con una mayor calidad (8,20) al tratamiento T12 ( $a_1b_2c_1$ ) cacao CCN51+fermentación controlada+ secado artificial, en cambio se obtuvo menor calidad (6,10) en el tratamiento T8 ( $a_1b_1c_0$ ) cacao CCN51+fermentación en cascada+ secado ambiental.

En las variables sensoriales amargor y astringencia (figura 11c,d) cabe destacar que en esta puntuación los resultados son inversamente a la calidad, es decir una menor puntuación en amargor y astringencia mayor es la puntuación en calidad, basado en esto se obtuvo una mayor puntuación en el tratamiento T6 (7,70 amargor y 8,80 astringencia) perteneciente al cacao nacional con una fermentación controlada y un secado artificial, en cambio, una menor puntuación la obtuvo el tratamiento T7 (3,30 amargor y astringencia 1,50) esto correspondiente a la variedad de cacao CCN51 la fermentación en sacos de yute con un secado ambiental.

Seguido con el perfil de la evaluación sensorial, en la variable pos gusto (figura 11f), se apreció que la mejor puntuación (8,70) en lo que respecta al sabor residual después de la degustación de la muestra la obtuvo el tratamiento T12 ( $a_1b_2c_1$ ) que corresponde a la variedad de cacao CCN5 con una fermentación controlada y un secado artificial, asimismo una menor

puntuación (5,50) la obtuvo el tratamiento T7 ( $a_1b_0c_0$ ) variedad de cacao CCN5 una fermentación en sacos de yute y un secado ambiental.

Por último, para la evaluación del sabor, es importante mencionar que se obtuvo la calificación de calidad de acuerdo con los sabores positivos o neutros obtenidos de los tratamientos (figura 12), ya sean sabores a cocoa, dulce, nuez, frutas secas, frutas frescas, floral o especias, es por ello que el tratamiento T9 ( $a_1b_2c_0$ ) obtuvo una mayor puntuación de 7,80 con la variedad de cacao CCN5 con fermentación controlada con secado ambiental con sabor dulce y a nuez (figura 12b), por otro lado, el tratamiento T8 ( $a_1b_1c_0$ ) variedad de cacao CCN5 con fermentación en cascado y un secado ambiental obtuvo una puntuación de 5,60 en la variable calidad (figura 12b).

### Resultados de la interacción ABC de los análisis sensoriales del producto final.

En la tabla 43, se encuentra las medias de los tratamientos con las variables evaluadas en el perfil sensorial.

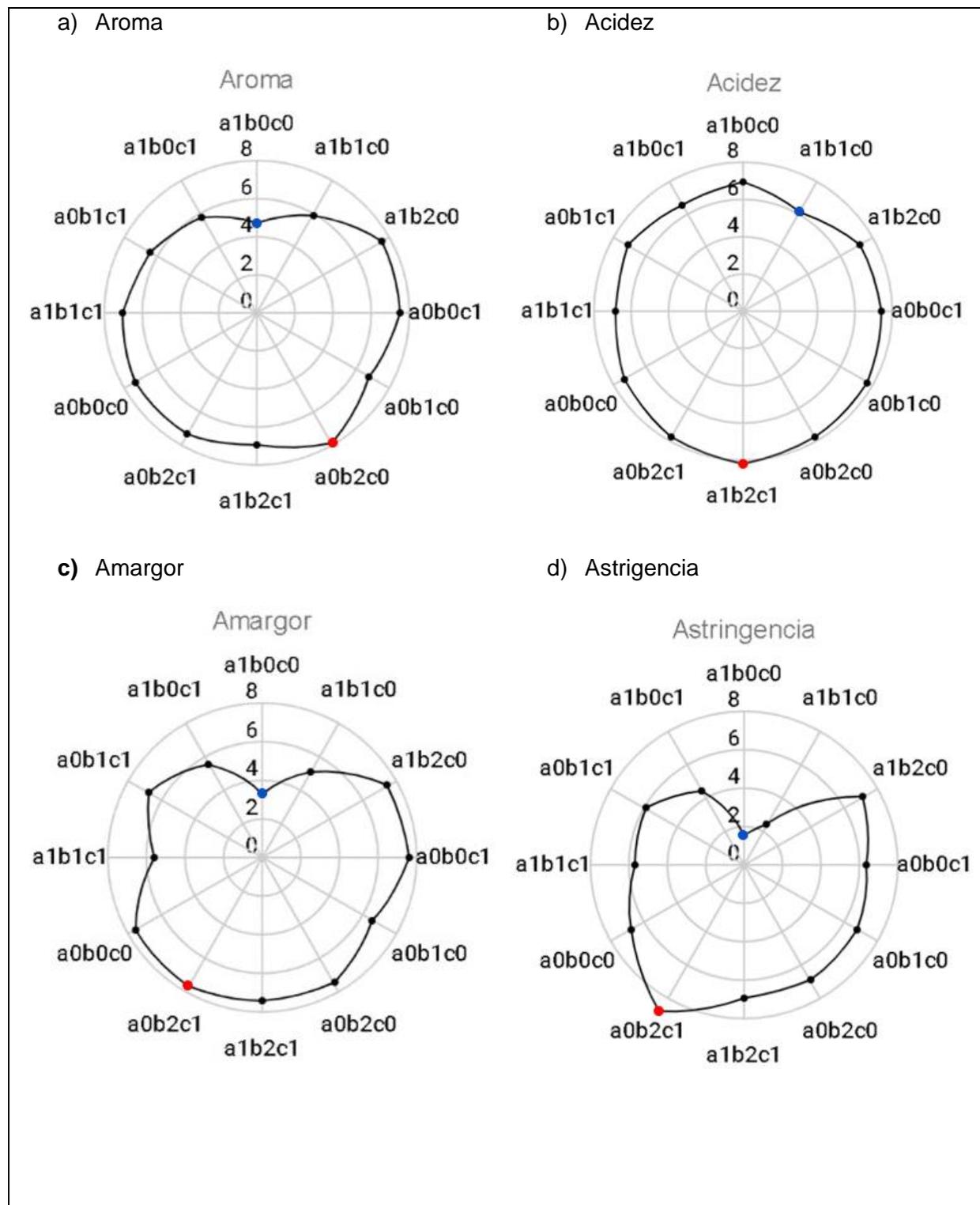
**Tabla 43.**

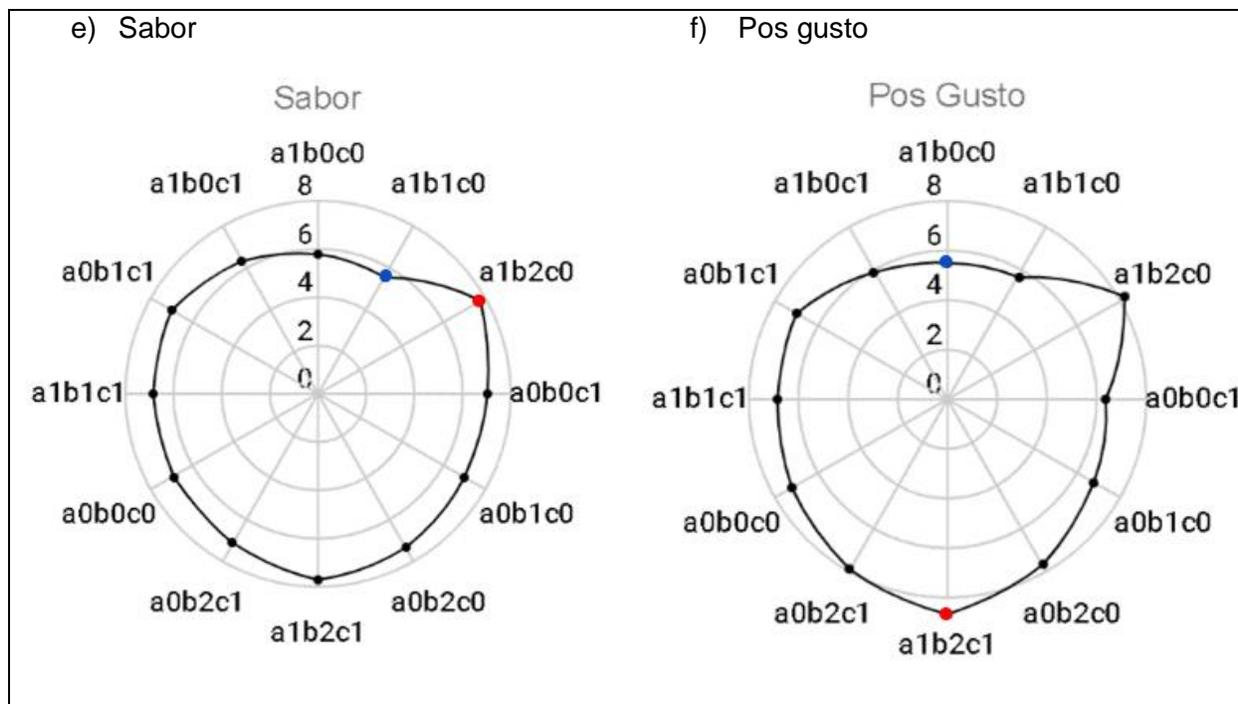
*Prueba de significancia de Tukey alfa = 0.05 para la interacción ABC (variedad de cacao, tipo de fermentación, tipo de secado)*

Tratamiento	Interacción	Descripción	Aroma	Acidez	Amargor	Astringencia	Sabor	Pos gusto
T <sub>1</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	Nacional+ Yute+ Ambiente	7,40 <sup>BCD</sup>	7,30 <sup>AB</sup>	7,60 <sup>C</sup>	6,80 <sup>CDE</sup>	6,90 <sup>AB</sup>	7,20 <sup>ABCDE</sup>
T <sub>2</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	Nacional+ Cascada +Ambiente	6,80 <sup>BCD</sup>	7,70 <sup>AB</sup>	6,60 <sup>BC</sup>	6,80 <sup>CDE</sup>	7,00 <sup>AB</sup>	6,80 <sup>ABCDE</sup>
T <sub>3</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>2</sub> c <sub>0</sub>	Nacional+ Controlada+ Ambiente	7,90 <sup>D</sup>	7,80 <sup>AB</sup>	7,50 <sup>BC</sup>	6,90 <sup>CDE</sup>	7,40 <sup>AB</sup>	7,70 <sup>BCDE</sup>
T <sub>4</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	Nacional+ Yute+ Artificial	7,50 <sup>BCD</sup>	7,40 <sup>AB</sup>	7,60 <sup>C</sup>	6,40 <sup>CDE</sup>	7,00 <sup>AB</sup>	6,40 <sup>ABCD</sup>
T <sub>5</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	Nacional+ Cascada+ Artificial	6,40 <sup>ABCD</sup>	7,10 <sup>AB</sup>	6,80 <sup>BC</sup>	5,90 <sup>CD</sup>	7,00 <sup>AB</sup>	7,00 <sup>ABCDE</sup>
T <sub>6</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	Nacional+ Controlada+ Artificial	7,40 <sup>BCD</sup>	7,80 <sup>AB</sup>	7,70 <sup>C</sup>	8,80 <sup>E</sup>	7,10 <sup>AB</sup>	7,90 <sup>CDE</sup>
T <sub>7</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	CCN51+Yute+ Ambiente	4,70 <sup>A</sup>	6,90 <sup>AB</sup>	3,30 <sup>A</sup>	1,50 <sup>A</sup>	5,80 <sup>AB</sup>	5,50 <sup>A</sup>
T <sub>8</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	CCN51+ Cascada+ Ambiente	5,90 <sup>ABC</sup>	6,10 <sup>A</sup>	5,80 <sup>AB</sup>	2,40 <sup>AB</sup>	5,60 <sup>A</sup>	5,70 <sup>AB</sup>
T <sub>9</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>0</sub>	CCN51+Controlada+ Ambiente	7,60 <sup>CD</sup>	7,20 <sup>AB</sup>	7,50 <sup>BC</sup>	7,10 <sup>DE</sup>	7,80 <sup>B</sup>	8,20 <sup>DE</sup>
T <sub>10</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	CCN51+ Yute+ Artificial	5,80 <sup>AB</sup>	6,60 <sup>AB</sup>	5,60 <sup>ABC</sup>	4,50 <sup>BC</sup>	6,30 <sup>AB</sup>	5,90 <sup>ABC</sup>
T <sub>11</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	CCN51+ Cascada+ Artificial	7,00 <sup>BCD</sup>	6,80 <sup>AB</sup>	5,60 <sup>ABC</sup>	5,70 <sup>CD</sup>	6,80 <sup>AB</sup>	6,80 <sup>ABCDE</sup>
T <sub>12</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	CCN51+ Controlada+ Artificial	6,90 <sup>BCD</sup>	8,20 <sup>B</sup>	7,40 <sup>BC</sup>	6,90 <sup>CDE</sup>	7,70 <sup>AB</sup>	8,70 <sup>E</sup>

Figura 11.

Análisis sensorial de los tratamientos





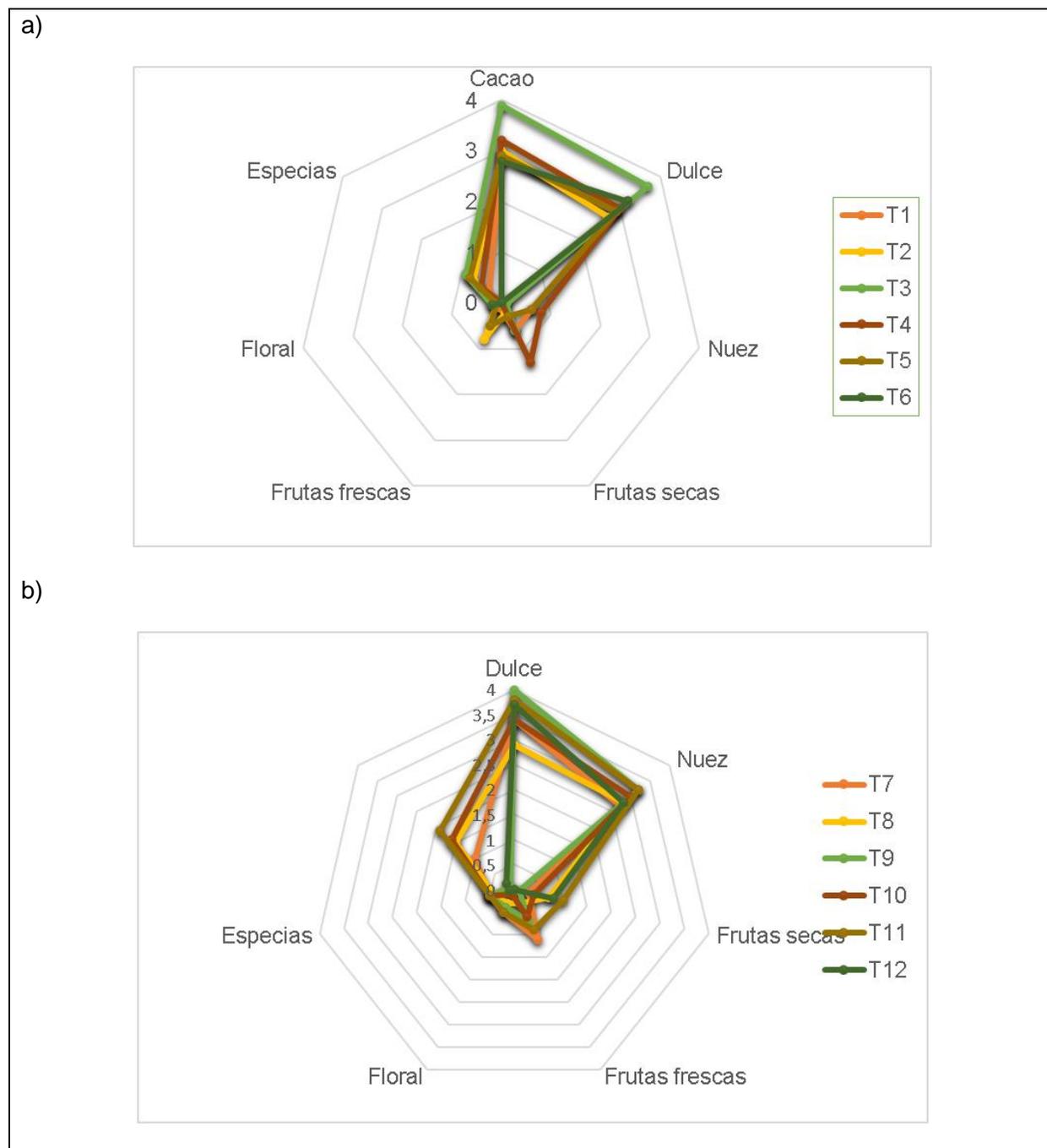
Nota. El gráfico representa la puntuación en escala de calidad (0-10) de los tratamientos.

Círculo rojo: mayor puntuación y azul: tratamiento con menor puntuación.

## Resultados del nivel de intensidad del análisis sensorial de los sabores

**Figura 12.**

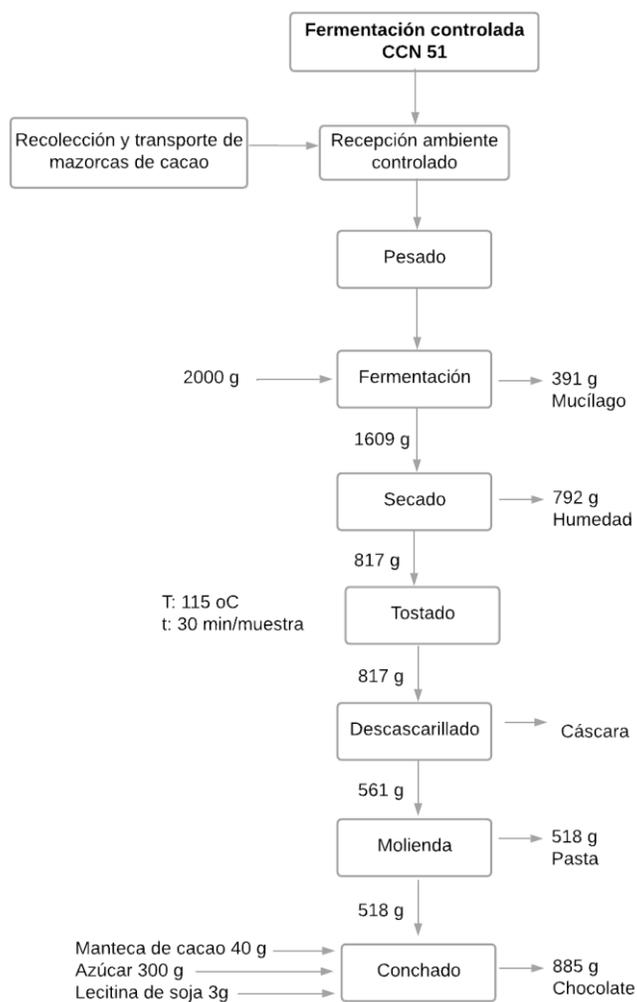
*Perfil sensorial del sabor en escala de intensidad*



## Balance de material

Figura 13

Balance de material de la fermentación controlada usando cacao CCN-51

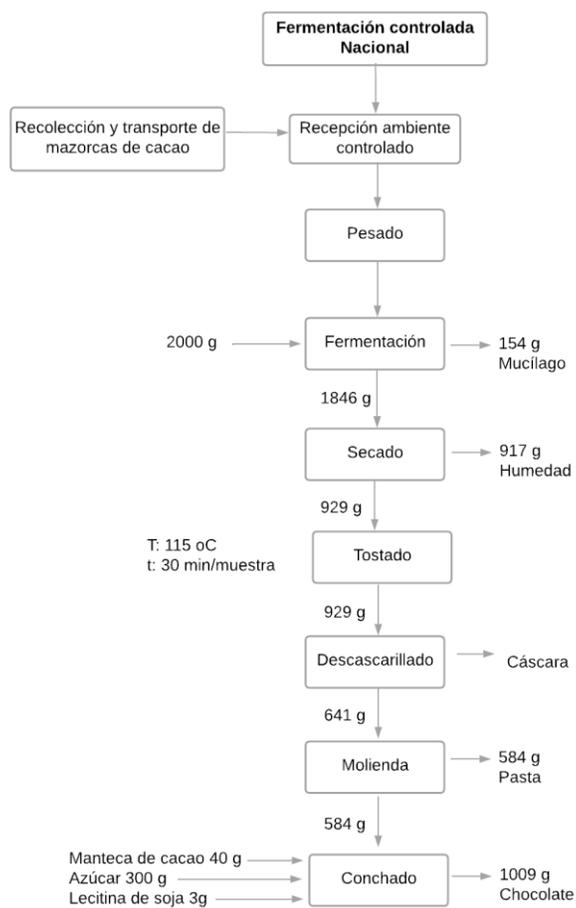


$$R = \frac{\text{Producto final}}{\text{Producto inicial} * 100}$$

$$R = \frac{885}{2000 * 100} = 44,25\%$$

## Figura 14

*Balance de material de la fermentación controlada usando cacao nacional.*

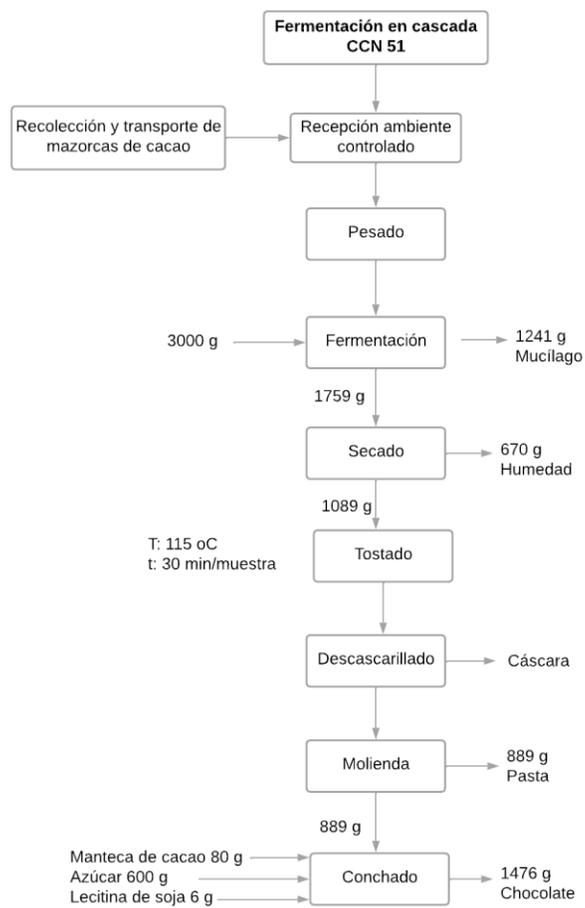


$$R = \frac{\text{Producto final}}{\text{Producto inicial} * 100}$$

$$R = \frac{1009}{2000 * 100} = 50,45\%$$

Figura 15

Balance de la fermentación en cascada usando cacao CCN-51

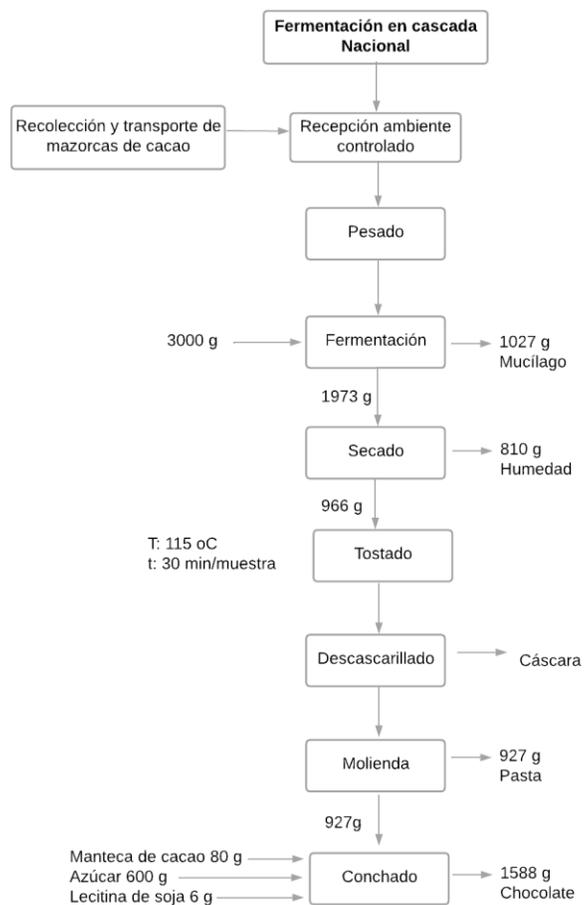


$$R = \frac{\text{Producto final}}{\text{Producto inicial} * 100}$$

$$R = \frac{1476}{2000 * 100} = 49,2\%$$

Figura 16

*Balance de la fermentación en cascada usando cacao nacional*

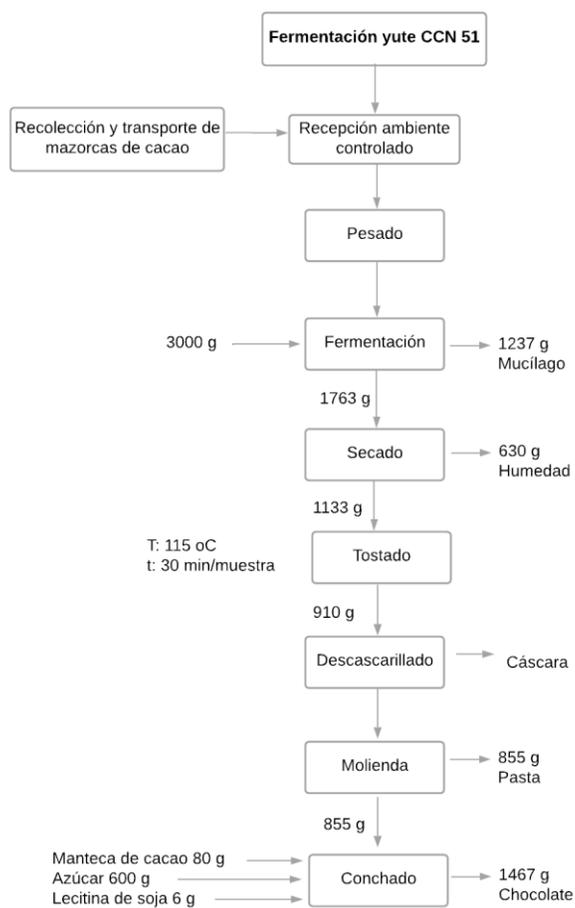


$$R = \frac{\text{Producto final}}{\text{Producto inicial} * 100}$$

$$R = \frac{1588}{2000 * 100} = 52,93\%$$

Figura 17

Balance de la fermentación en yute usando cacao CCN-51

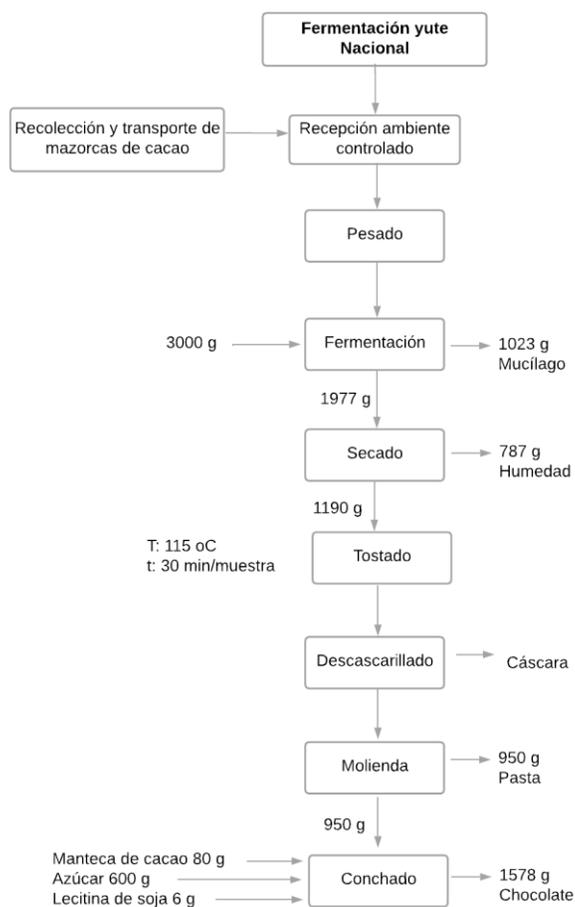


$$R = \frac{\text{Producto final}}{\text{Producto inicial} * 100}$$

$$R = \frac{1467}{3000 * 100} = 48,9\%$$

**Figura 18**

*Balance de la fermentación en yute usando cacao nacional*



$$R = \frac{\text{Producto final}}{\text{Producto inicial} * 100}$$

$$R = \frac{1578}{3000 * 100} = 52,6\%$$

## Capítulo V

### Discusión

#### **Interpretación de los resultados de las variedades de cacao sobre las características fisicoquímicas**

El pH del grano de cacao al final de la fermentación es decisivo para la formación de los olores y sabores para la elaboración del producto final de cacao. Biehl & Voigt, (1999) mencionan que un pH óptimo debe ser entre 4,75 y 5,19, lo que significa que hubo una buena fermentación. El pH del producto final de cacao no presentó diferencia significativa entre las variedades de cacao nacional y CCN51 siendo de 6,38 a 6,39, respectivamente (figura 7a). En la NTE INEM 620 se menciona que el pH máximo para cacao en polvo sin alcalinizar es de 6,1.

El cacao nacional tiene un contenido de grasa superior al 36,64 %, frente al 31,04 % del cacao CCN51, la NTE INEN 621 (2010) para chocolate dulce, establece un contenido mínimo de grasa del 18 %, determinado por el método de ensayo INEM 535. Las variedades de cacao analizadas del cantón el Empalme cumplieron con la normativa. Andrade et al. (2019) estudiaron granos de cacao Nacional y CCN51 y encontraron que el contenido de grasa total promedio del cacao ecuatoriano fue de 50,87% para Nacional y 51,02% para CCN51(Figura 7d)., mientras que el resultado para CCN51 peruano fue de 47,28%. Según Salcan & Quevedo (2021), la grasa del cacao varía según la variedad y también la época que se cosechan los frutos, el cacao que se cosecha de octubre a mayo el rendimiento es mayor, puesto que el fruto madura en los meses más cálidos y la manteca de cacao es de mejor calidad, puesto que a bajas temperaturas aumenta la proporción de grasas no saturadas en las semillas de cacao (Enríquez, 1985).

Las cenizas totales no presentaron diferencia para las variedades de cacao estudiadas teniendo un promedio de  $a_0$  y  $a_1$  de 1,98-1,93%, respectivamente (fig.7f), la NTE INEN 620,

(2017) establece que el porcentaje máximo para cacao en polvo es de 10% libre de grasa y en base seca, por otro lado, para licor de cacao en la NTE INEN 623, (1988) se establece 7,5 de cenizas totales (fig.7f)

El cacao nacional presento mayor porcentaje de proteína (4,34%), en cambio, el cacao CCN51 presentó menor porcentaje de proteína (3,56 %). Andrade y colaboradores, (2019) en un estudio en los granos fermentados y secos de cacao presentan el doble del porcentaje de proteína 8,60 y 8,08 para nacional y CCN51, relativamente. Por otro lado, Ruiz, (2016) en chocolate negro elaborado a partir de cacao nacional obtuvieron valores de proteína de 7,76% a 8% (fig.7e).

En una investigación realizada por Deus et al., (2020) se analizó la influencia de 9 clones de cacao en la calidad del chocolate enfocándose en los compuestos nitrogenados, donde se resolvió que los diferentes clones de cacao presentaban diferentes perfiles de aminoácidos y aminas, la mayoría de los clones presentaban de 18 a 20 de los aminoácidos investigados, asimismo 5 clones no tenían fenilalanina, carecían de metionina, prolina, valina y alanina. Estos resultados apoyarían los resultados obtenidos en la proteína para las variedades de cacao, donde se observó diferencia significativa.

El cacao nacional presento una acidez de 0,94 y la variedad CCN51 de 0,65, Solórzano et al., (2021) menciona que el cacao nacional más una fermentación en guayacan blanco presenta una acidez de (1,34 %) en el licor de cacao. Ortiz y colaboradores (2009) menciona un almacenamiento del cacao en baba baja la acidez antes de la fermentación, por la disminución en la formación de los ácidos acético y láctico durante la fermentación, bajando la absorción por el grano de estos ácidos, a su vez hay una rebaja en los ácidos volátiles. Cabe mencionar que esto afecta de manera directa en el aroma y sabor del cacao (fig.7b).

La humedad de las variedades de cacao tuvo diferencia significativa teniendo un promedio de 3,19 a<sub>0</sub> y 1,29 a<sub>1</sub> (fig.7c). En la NTE INEN 176, (2018) se establece que el contenido de humedad máximo para granos fermentados es de 7%, puesto que una humedad mayor favorece el crecimiento de mohos.

En el índice de semilla con los valores promedio de las variedades de A<sub>0</sub> (1,28) y A<sub>1</sub> (1,74) fig. 7g, cabe destacar que se refiere al peso promedio de una almendra, a partir de 100 almendras fermentadas y secas. En un estudio realizado por Peña (2003) se destaca que sí existe una variabilidad en el tipo de cacao con respecto al índice de semilla mostrando diferencia en los cacaos trinitarios presentando bajos valores de índice de semilla frente a los cacaos forasteros, a su vez en algunos casos las semillas provenientes de frutos con forma amelonada presentan un rango de variación de 0,9 a 1,3g para ese índice. Es importante destacar que los genotipos de la variedad cacao tipo nacional presentan un rango de 0,68 a 1,66 g para índice de semilla (Peña 2003 citado de Tarqui, 2010).

Interpretación de los resultados del método de fermentación sobre las características fisicoquímicas

Los valores que se obtuvo de pH con el método de fermentación en sacos de yute, cajones en cascada y controlada indican que existe diferencia significativa y que influyo directamente en los datos obtenidos. Se determinó que la fermentación controlada con cultivo iniciador *Lactobacillus plantarum* obtuvo un pH de 6,18 en el chocolate negro, en cambio la fermentación en cajones en cascada se situó con un pH de 6,55. Solórzano et al., (2021) en un tratamiento con fermentación en cajones con cacao nacional presentó un pH de 5,82. En lo que respecta a la NTE INEN 620 esta establece que para el cacao en polvo se permite un rango de pH de 5,2 a 6,1. En el resultado de Tafurt y colaboradores (2021) se obtuvo un valor de 6,63 en chocolate negro de granos de cacao sin fermentar.

Para los datos obtenidos en % de humedad del tipo de fermentación no se encontró diferencia, donde la media ronda entre 2,84% a 1,84% (figura 8), cabe mencionar que este porcentaje de humedad fue obtenido de la barra de chocolate y no del grano seco fermentado, puesto que el valor mínimo de humedad es 4 para evitar que se quiebre el grano y un máximo de 7% para evitar el crecimiento inadecuado de mohos y levaduras. En la NTE INEN 620 (1984) se establece un límite máximo permitido para el cacao en polvo de 5%. Solórzano et al., (2021) evaluó diferentes cajones de madera para la fermentación de cacao, donde el tratamiento T6 (cacao trinitario + cajón de pino) presentó una humedad de 2,44%. Tafurt y colaboradores (2021) obtuvieron un valor de 19,88% en chocolate negro de granos de cacao sin fermentar. La fermentación en sacos de yute en grano seco según Quevedo, Romero & Tuz, (2018) sitúa un valor de 7,58%, en cambio en fermentadores controlados o de plástico sitúa un valor de 6,50% (Vílchez, 2016). De acuerdo con la NTE INEN 176, (2018) la humedad comprende un máximo de 7%.

La fermentación en sacos de yute presentó menor porcentaje de grasa (32,35%), mientras que en cascada y controlada se tuvieron valores más altos (34,15% y 35,03%, respectivamente) fig.8d. La fermentación en cajones de madera presenta un porcentaje de 50,91% (Piedra, Avendaño, González, & López, 2016). En otro estudio la fermentación en sacos de yute 32,10%, a su vez mencionan que la grasa está directamente relacionada con el proceso postcosecha donde se obtienen buenos porcentajes de grasa.

En la fig. 8f, se aprecia que el valor máximo obtenido en cenizas totales corresponde al B<sub>0</sub> (2,68%) fermentación con sacos de yute. Solórzano et al., (2021) obtuvo que la fermentación en cajones de guayacán blanco obtuvo un 3,37% de cenizas totales en granos de cacao seco. Por otro lado, en comparación con la en la NTE INEN 623, (1988) los resultados obtenidos están dentro de la normativa (<7,5 de cenizas totales).

En la fermentación en sacos de yute se alcanzó el mayor porcentaje de proteína con un 4,51%, en un estudio se obtuvo 16,21% en proteína cruda en chocolate negro de cacao sin fermentar, (Tafurt, 2021).

La fermentación controlada con cultivo iniciador presentó un mayor índice de semilla (1,59), en cambio la fermentación en cajones de madera presentó el menor índice (1,45). Por otro lado, en una buena fermentación sí tiene influencia el índice de semilla puesto que se observó que una buena fermentación tiene mínimo 75% (Piza, 2009).

Piedra, Avendaño, González & López, (2016) con una fermentación en cajones de madera presentaron un índice de grano de 1,21g, en otro estudio de Quevedo, Romero & Tuz, (2018) con una fermentación en sacos de yute obtuvieron un índice de grano de 1,28g, en cambio Vilchez, (2016) con una fermentación controlada obtuvo un índice de 1,33g. Liendo, (2016) menciona que un índice de semilla de 1,26g es la media en Ecuador, los valores obtenidos se encuentran en los establecidos en la NTE INEN 176, (2018), a su vez Sánchez (2015) menciona que un índice de semilla debe ser mayor 1g con cualquier método de fermentación.

Zuñiga, (2018) menciona que en Ecuador la producción en toneladas es de 12 8446, el método de fermentación más empleado es el de cajas de madera, sacos de yute y montón. En Quevedo, se encuentra la empresa exportadora de cacao orgánico Pedro Martinetti, que está certificada por su proceso de fermentación en escalera y cajas de madera. La mayoría de los exportadores ecuatorianos realizan un secado natural tipo marquesina y elba, pero en Pedro Martinetti lo realizan de manera artificial utilizando secadoras reduciendo el tiempo de secado a 8 horas.

(Deus et al., 2020) determinó que durante el proceso de fermentación se forman los precursores del sabor. (aminoácidos libres, péptidos de cadena corta y azúcares reductores),

consecuencia de un aumento en los compuestos volátiles (alcoholes, ácidos orgánicos y aldehídos).

### **Influencia del método de secado sobre las características fisicoquímicas**

Al encontrarse diferencia significativa en el pH, grasa e índice de semilla (tabla 37), se acepta la hipótesis alternativa donde si hay influencia del tipo de secado, en cambio se acepta la hipótesis nula para humedad, proteína y ceniza. En la normativa el porcentaje de grasa mínimo para el licor de cacao es 48%, humedad 3%, cenizas totales 7,5%. INEN 623

El secado ambiental, según vera (1993) es el que más predomina en Ecuador, empleando tendales de madera, piso de cemento con ligera inclinación. Cabe mencionar que en lugares donde predominan las lluvias el secado artificial puede ser una gran alternativa (Chila, 2018). Con un método de secado ambiental en los granos fermentados de cacao se obtuvo en cenizas totales un 2,23 % y 2,73% en caco nacional y CCN51, relativamente (Andrade. 2019).

En lo que respecta a la proteína encontrada en un estudio realizado por (Zambrano, 2017) en el cantón Luz de América se encontró que el 12,91, 12,33 y 11,95% mayores valores de proteína con el secado en estufa, y menores porcentajes de proteína en secado con cemento y asfalto con un 11,50 (Lara Zambrano, 2017).

Nogales, Fariñas & Bertorelli, (2006), con un secado ambiental de 5 días alcanzó en el grano de cacao fermentado una humedad de 7,95%, pH de 5,83, porcentaje de cenizas totales de 3,60% y un porcentaje de proteína de 14,02% (Nogales, Fariñas, & Bertorelli, 2006). En el presente estudio el secado ambiental se realizó durante 6 días.

Con los resultados obtenidos se observó un menor valor de acidez 0,48 con el secado ambiental, en un estudio realizado en la acidez titulable en granos de cacao secados al ambiente se observó que, a los 0 días, de almacenamiento este se redujo a 0,197, una

propensión análoga se observó a los 3 días de almacenamiento 0,188 a 0,146 (Muñoz & López,2022).

### **Influencia de la interacción ABC en las características fisicoquímicas**

El cacao nacional con una fermentación en cascada y un secado artificial presento el mayor valor de pH (6,90), en cambio la interacción de cacao CCN51 más fermentación en cascada con un secado artificial presento un menos valor de pH (5,97). Mosquera et al., (2020) en una investigación empleando tres tipos de cacao nacional y una fermentación en cajones en cascada encontró que los valores en pH testa rondaron un mínimo de 4,15 y un máximo de 5,57, hay que considerar que el presente análisis el pH fue tomado en el producto final de chocolate. En un estudio de Ruiz, (2016) el tratamiento T10 (cacao nacional 60%+ 15% de leche en polvo+ 20% Azúcar) presentó el menor valor de pH de 5,91, en cambio el valor más alto de 6,25 se dio en el tratamiento T4 (cacao nacional 20% + 15% de leche en polvo 40% nibs + 20% Azúcar). De acuerdo con los autores esta variabilidad viene dada por el pH del grano después de la fermentación y a las temperaturas elevadas, puesto que en este proceso ocurre el ingreso del ácido acético al grano. En otro trabajo de Tafurt y colaboradores, (2021) en chocolate negro con granos de cacao sin fermentar, con una mezcla de 68,83% de licor puro de cacao se obtuvo en pH una media de 6,63. En la NTE INEN 620 para polvo de cacao se establece que el pH en suspensión al 10% mínimo es 5,2 y máximo 6,1.

En lo que respecta a la grasa del chocolate (producto final) se encontró mayor porcentaje en el cacao nacional con una fermentación controlada y un secado artificial con un valor de 48,28% y en menor porcentaje en la variedad de cacao CCN51 con fermentación en cascada y un secado artificial (22,16%). En un estudio realizado en cacao nacional se determinó que el porcentaje de grasa en cacao fresco fue del 47,81%, este valor descendió un 0,13% en un fermentador rotatorio, en cambio la variedad de cacao CCN51 fresco presento un contenido de grasa de 49,72% que en la fermentación rotativa descendió un 1,42% (Llerena,

2016). En la NTE INEN 621, (2010) se establece que el chocolate negro dulcificado debe tener un mínimo de 18% de grasa o manteca de cacao, estando los resultados obtenidos dentro del parámetro.

La variedad de cacao nacional más fermentación en sacos de yute y un secado artificial obtuvo un porcentaje de 5,79% frente a la variedad CCN51 más una fermentación controlada y un secado artificial de 2,05%. Tafurt y colaboradores, (2021) obtuvieron una media de 16,21% en proteína cruda en chocolate oscuro, pero se debe considerar que los granos no estaban fermentados. Andrade y colaboradores, (2019) en análisis de granos de cacao de Ecuador en la variedad nacional encontró un porcentaje de proteína cruda de 8,60%, en cambio en el CCN51 situó un valor de 8,08%, en dicho estudio no se establece ningún método específico de fermentación, pero en el método de secado se utilizó el secado ambiental o al sol. No se conoce de ninguna normativa ecuatoriana que regule el porcentaje de proteína en el cacao.

Los tratamientos estudiados no presentaron diferencia significativa en el porcentaje de humedad donde se obtuvo un rango promedio de 0,69% a 4,77%, en los granos de cacao secos y fermentados el rango mínimo es de 4% y un máximo de 7%, para evitar la quebradura de los granos y el crecimiento microorganismos indeseados, respectivamente. El cacao nacional con una fermentación en sacos de yute y un secado ambiental presentó mayor porcentaje de cenizas (2,94%) frente a un menor porcentaje de la variedad nacional con una fermentación controlada y un secado artificial (0,98%). En un análisis ejecutado por Santos y colaboradores, (2020) sobre chocolate negro elaborado de granos de cacao finos de aroma de la región Amazonas, provincia de Bagua, Perú, fermentados y secados en esa región determinó las características fisicoquímicas del chocolate donde se alcanzó un 4,89% en humedad, 48,27% en grasa, 3,41% en ceniza y proteína con un 12,29%.

Bermúdez y Mendoza, (2016) mencionan que las cenizas permiten discernir de un cacao que fue fermentado o directamente secado, puesto que en el proceso de fermentación

del grano se pierde hasta un 25% de las cenizas totales, esto es simultaneo a la evaporización de los líquidos de los granos con los ácidos volátiles formados.

En lo que concierne al índice de semilla se observó que el cacao CCN51 con un método de fermentación controlada y un secado ambiental presento el mayor valor (2,19) frente al menor valor (1,10). El valor mínimo exigido por los exportadores de cacao es 1, es decir, las 100 almendras de cacao fermentadas y secas deben pesar 100g. Por lo cual la fermentación controlada obtuvo mejores resultados considerando este parámetro.

La variedad de cacao nacional método de fermentación controlado + secado ambiental presento un menor valor de acidez (0,27), la acidez titulable es una variable que está relacionada directamente con la formación de olor y sabor en el chocolate (Muñoz & López,2022). Ortiz y colaboradores (2009) menciona un almacenamiento del cacao en baba una baja la acidez antes de la fermentación, por la disminución en la formación de los ácidos acético y láctico durante la fermentación, bajando la absorción por el grano de estos ácidos, a su vez hay una rebaja en los ácidos volátiles.

Los granos de cacao almacenados presentan mayor pH antes de la fermentación, en una pulpa sin fermentar se ha encontrado una acidez total de 3,40% y dentro de cotiledón un 0,31%. En el proceso de fermentación la pulpa disminuye su acidez puesto que el cotiledón absorbe todos los ácidos formados aumenta la acidez de este, esto es una característica que diferencia de los demás tipos de cacao (Ortiz, Graziani & Gervaise, 2009).

### **Influencia del método de fermentación sobre el análisis microbiológico**

La NTE INEN 620 (1989) para chocolate de cacao establece un máximo de 100 unidades formadoras de colonias para cacao en polvo. Los requisitos microbiológicos para los chocolates NTE INEN 621 (2010) en aerobios mesófilos es de  $2,0 \times 10^{-4}$ , para mohos y

levaduras un máximo de  $1,0 \times 10^3$ . Con los resultados obtenidos en la tabla 39, el chocolate obtenido cumple con los requisitos que deben cumplir los chocolates.

### **Interpretación de la Influencia de la interacción ABC en el perfil sensorial**

El tratamiento T3 presento una mayor puntuación en calidad en la variable aroma con cacao nacional una fermentación controlada y un secado ambiental, predominando los olores a cacao y a nuez. En cambio, el tratamiento T7 cacao CCN51 con una fermentación en yute más un secado ambiental. Solorzano y colaboradores (2015) consiguieron olores a cacao y a nuez con la variedad de cacao nacional con una fermentación en cajas de madera y un secado tipo marquesina. Sin embargo, con la variedad de cacao CCN51 una fermentación cajones de madera y un secado natural marquesina produjo sabores a frutas, flores y un característico olor a cacao.

Horta, (2017) con una fermentación en envases plásticos con la variedad CCN51 y un secado ambiental bajo piso de cemento produjo un sabor amargo característico aroma mohoso.

Afoakwa, (2016) menciona que el chocolate proveniente del grano de cacao esta influenciado por la genética del grano, las condiciones de crecimiento y el tipo de fermentación recibido que afecta al aroma y sabor. Se debe mencionar que un cacao sin fermentar tiene un fuerte sabor astringente desagradable, el proceso de fermentación del cacao es un proceso que se realiza en el ambiente en el que interactúan la cantidad de microorganismos del lugar donde se extrajo las mazorcas fermentación de manera espontánea.

La fermentación controlada presentó mejores resultados en el perfil sensorial, en un estudio similar con un cultivo iniciador de levadura *Saccharomyces cerevisiae* adicionado como sustrato banano y un secado ambiental presentó en el chocolate característico sabor a nuez, frutas y cacao. En un estudio realizado por Obinze & Eke,(2022) determino que los microorganismos que prevalecen en una fermentación son la *Staphylococcus spp*, *Candida* y

Pseudomonas, y las BAL dominan la fermentación transcurrido 72 horas de fermentación, aumentando el contenido de proteínas y cenizas totales. Fernandez et al., (2019) situó a las cepas *A. pasteurianus* y *L. fermentum* como aptos para cultivos iniciadores, la primera cepa tiene alta tolerancia al calor, a su vez posee una capacidad para oxidar el etanol, y pasar de ácido láctico a ácido acético. En cambio, la segunda cepa posee un hetero metabolismo fermentativo, resistencia al etanol, producción de manitol y fructosa y la conversión de citrato.

Barragan, (2019) menciona que un secado artificial de la combustión de petróleo produce en el chocolate sabores ácidos y olores característicos a fermentado. En un estudio realizado por Guerrero (2021) el cacao nacional con una fermentación en cascada presento los mejores resultados en el perfil sensorial, teniendo una baja acidez de 1,050%, provocando reacciones químicas entre proteínas dando fuerte olor y sabor a chocolate.

Por último, es importante mencionar que durante la fermentación se liberan compuestos volátiles (aldehídos, alcoholes y ácidos orgánicos) y se desarrolla los precursores del aroma (azúcares reductores, aminoácidos libres y péptidos de cadena corta).

## Capítulo VI

### Conclusiones

En el presente estudio la calidad del chocolate está influenciado por el proceso postcosecha del grano de cacao, su proceso de fermentación y secado, por lo que se acepta la hipótesis alternativa para el factor A, factor B, factor C y ABC puesto que es decisivo en la obtención de un producto final de alta o baja calidad.

En la variabilidad, los dos tipos de cacao no tienen influencia sobre los parámetros evaluados pH y ceniza. Por lo contrario, inciden en los parámetros de humedad, grasa, proteína e índice de semilla. La variabilidad de cacao nacional obtuvo los mejores resultados en humedad (3,19%), grasa (36,6%), proteína (4,34%), en cambio CCN51 obtuvo un mejor resultado en Índice de semilla (1,74).

El proceso de fermentación es el proceso principal en la formación de precursores del sabor y aroma lo que conduce en la calidad final del chocolate, por lo cual el método de fermentación controlada con cultivo iniciador de 5 ml de *Lactiplantibacillus plantarum* situó los mejores valores para pH con 6,18, grasa con 35,03 e índice de semilla con 1,57, cenizas totales con 1,57 y la fermentación en sacos de yute con 4,51 en proteína.

El método de secado ambiental situó los mejores resultados para los parámetros evaluados pH 6,45, grasa 37,55% e 1,58% índice de semilla.

En el análisis sensorial el mejor tratamiento situado por los catadores es T3 cacao nacional una fermentación controlada y un secado ambiental donde predomina los olores a cacao y a nuez según la escala de intensidad y calidad, obteniendo un buen producto de calidad.

## Recomendaciones

Uno de los factores más importantes en la elaboración del chocolate es la elección de las materias primas, por ello, si se necesita un chocolate gourmet con un aroma y sabor de alta calidad, se recomienda usar la variedad de cacao nacional en vista que presenta las mejores características fisicoquímicas y organolépticas. Otro parámetro para considerar es el proceso de postcosecha, la fermentación y el proceso de obtención de la pasta de cacao para su posterior elaboración del producto final.

Se recomienda la fermentación controlada con un cultivo iniciador de *Lactiplantibacillus plantarum*, puesto que ubico los mejores resultados en la evaluación de características fisicoquímicas y organolépticas, a su vez se debe realizar más investigaciones con consorcios de microorganismos del sitio donde se obtiene las mazorcas de cacao, para realizar la fermentación. Se sugiere para posteriores investigaciones los microorganismos *L. fermentum*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Lactobacillus fabifermentans*, entre otros.

Se sugiere realizar un secado ambiental durante la temporada seca, puesto que se obtuvo los mejores resultados en cuanto al porcentaje de humedad establecido por la NTE INEN, a su vez se recomienda evitar lugares húmedos o contaminados, puesto que puede afectar en la formación de olores, sabores y permitir la proliferación de microorganismos.

En el estudio actual, se obtuvieron productos que cumplían con los estándares nacionales de calidad del cacao con las mejores características de aroma y sabor obtenidas de la variedad de cacao nacional mediante una fermentación controlada y un secado ambiental. Se recomienda continuar con investigación en fermentación de cacao, por lo que se propone crear guías del manejo postcosecha del cacao para la difusión con los pequeños y medianos productores.

Se recomienda en la zona del “El Empalme” incentivar la producción de la variedad de cacao nacional y seguir prácticas de buena calidad con condiciones asépticas óptimas ideales, desde la fertilización del suelo hasta el secado del grano de cacao.

## Capítulo VII

### Bibliografía

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, (7), 59-83.
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, J., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2013). Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of food science and technology*, 50(6), 1097-1105.
- Andrade Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G. C., & Ureña Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12.
- Andrade Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G. C., & Ureña Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12.
- Salcan Herrera, G.A. (2021) Determinación de la correlación porcentaje de grasa con el color de las almendras fermentadas y secas de cacao. (trabajo de titulación). UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.
- Anecacao. 2019. "Cacao nacional". *Anecacao*. Accedido 2 de marzo de 2019. <https://bit.ly/2tFra8>
- Bertazzo, A., Comai, S., Mangiarini, F., & Chen, S. (2013). Composition of cacao beans. In *Chocolate in health and nutrition* (pp. 105-117). Humana Press, Totowa, NJ.
- Biehl, B., & Voigt, J. (1999). Biochemistry of cocoa flavour precursors. In *Proceedings of the 12th International Cocoa Research Conference, Salvador, Brazil Lagos, Nigeria: Cocoa Producers Alliance, 1996* (pp. 929–938).

- Briones Olivo, J. A. (2022). *Impactos ambientales y sus efectos en la actividad turística en la Parroquia la Guayas del cantón El Empalme, año 2022* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Chila, V. H. R., & Castro, O. A. L. (2018). Tipos de secado de *Theobroma Cacao* L. y su efecto en la calidad organoléptica en Esmeraldas, Ecuador.
- del Ecuador, V. (2015). Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador. *Recuperado el, 23*.
- de Souza, P. A., Moreira, L. F., Sarmiento, D. H., & da Costa, F. B. (2018). Cacao—*Theobroma cacao*. In *Exotic fruits* (pp. 69-76). Academic Press.
- Deus, V. L., Bispo, E. S., Franca, A. S., & Gloria, M. B. A. (2020). Influence of cocoa clones on the quality and functional properties of chocolate—Nitrogenous compounds. *Lwt*, *134*, 110202.
- De Vuyst, L., & Leroy, F. (2020). Functional role of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa fermentation processes. *FEMS Microbiology Reviews*, *44*(4), 432-453.
- De Vuyst, L., & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, *121*(1), 5-17.g
- Durá Esteve, S. (2016). Estudio del valor nutricional y funcional de cacao en polvo con diferentes grados de alcalinización.
- Dzialo, M. C., Park, R., Steensels, J., Lievens, B., & Verstrepen, K. J. (2017). Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. *FEMS microbiology reviews*, *41*(Supp\_1), S95-S128.
- EC Instituto de Propiedad Intelectual (IEPI). 2019. "Cacao Arriba, la Pepa de Oro". *Instituto de Propiedad Intelectual*. Accedido 20 de enero de 2019. <https://bit.ly/2RetDiM>

- Encarnación, M. (2021). *“Caracterización del licor de dos variedades de cacao CCN-51 y nacional (Doctoral dissertation, Universidad de las Fuerzas Armadas).*
- Enríquez, G. A. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao (No. 22).* Bib. Orton IICA/CATIE.
- Grandsur (2021). Cocoa variety CCN-51. Obtenido de: <https://grandsur.com/en/cocoa-variety-ccn-51/>
- Graziani de Fariñas, L., Ortiz de Bertorelli, L., Alvarez, N., & Trujillo de Leal, A. (2003). Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. *Agronomía tropical*, 53(2), 175-188.
- Guerrero, C., María, G., Sánchez Sánchez, A. K., Llaguno, P. D. S., & Naney, S. Estudio del proceso de obtención de chocolate a partir del licor de cacao ecuatoriano.
- Guzmán-Alvarez, R. E., & Márquez-Ramos, J. G. (2021). Fermentation of Cocoa Beans. In *Fermentation-Processes, Benefits and Risks*. IntechOpen.
- Herrera Acosta, 2021. Capacidad probiótica de levaduras y bacterias ácido lácticas (bal) recuperadas del proceso de fermentación de cacao con potencial uso industrial.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (198623. PASTA (MASA, LICOR) DE CACAO. REQUISITOS (623). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/623.pdf>
- Jiang, B., Tsao, R., Li, Y., & Miao, M. (2014). Food safety: Food analysis technologies/techniques.
- Lara Zambrano, V. E. (2017). *“Evaluación del contenido de cadmio en dos variedades de cacao (theobroma cacao L.) considerando distintos métodos de secado en la localidad de Luz de América.* Santo Domingo: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Lawn, R., & Prichard, F. E. (2003). Measurement of PH. Royal Society of Chemistry.

- Lefeber, T., Janssens, M., Moens, F., Gobert, W., & De Vuyst, L. (2011). Interesting starter culture strains for controlled cocoa bean fermentation revealed by simulated cocoa pulp fermentations of cocoa-specific lactic acid bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(18), 6694-6698.
- Llerena, W. F. T. (2016). *Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao*. Universidad Internacional de Andalucía.
- Martínez Covalada, H., & Colombia, O. D. C. A. (2004). Observatorio Agrocadenas: La competitividad de las Cadenas Agroproductivas en Colombia.
- Meat technology, (1998). Crude Fat Determination Soxhlet Method. Obtenido de: <https://meatupdate.csiro.au/infosheets/Crude%20Fat%20Determination%20-%20Soxhlet%20Method%20-%201998.pdf>
- Milagros S., G. S., Santos, L.-E., Manuel, O., & Milla Pino, M. E. (2020). Caracterización fisicoquímica y sensorial de chocolate para taza, elaborado con harinas de quinua, maca y plátano. *Revista en Agroproducción Sustentable*, IV(2). doi:10.25127/aps.20202.562
- Mosquera, J. A. N., Escobar, K. Y. R., Morejon, J. P. A., & Llaguno, S. S. (2020). Métodos de fermentación del cacao nacional (theobroma cacao) y su influencia en las características físico-químicas, contenido de cadmio y perfiles sensoriales. *Alternativas*, 21(3), 42-48.
- Muñoz, D. A. F., & López, D. S. D. (2022). Método de fermentación y secado para el beneficio de la obtención del chocolate blanco a partir del cacao criollo (Theobroma cacao L.), ecuatoriano. *Universidad y Sociedad*, 14(S2), 323-329.
- Nogales, J., Graziani de Fariñas, L., & Ortiz de Bertorelli, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera<sup>1</sup>. *Agronomía Tropical*, 56(1), 5-20.

- Obinze, S., Ojmelukwe, P. C., & Eke, B. A. (2022). Box fermentation and solar drying improve the nutrient composition and organoleptic quality of chocolate from cocoa beans. *FRONTIERS IN SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS*, 6.
- Ochoa, J. (2019). ANECACAO. Recuperado el 26 de Octubre de 2020, de <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019.pdf>
- Ortiz de Bertorelli, L., Graziani de Fariñas, L., & Gervaise, R. L. (2009). Evaluación de varios factores sobre características químicas del grano de cacao en fermentación. *Agronomía Tropical*, 59(1), 73-79.
- Peña, G. 2003. Caracterización morfológica de 57 accesiones de cacao (*Theobroma cacao* L.), tipo Nacional del Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Tesis Ing. Agr. Portoviejo, EC, Universidad Técnica de Manabí. P. 1-18.
- Piza, R. P. (2009). *La calidad del cacao*. INIAP Archivo Histórico.
- Pomeranz, Y., Meloan, C. E., Pomeranz, Y., & Meloan, C. E. (1994). Determination of moisture. *Food analysis: Theory and practice*, 575-601.
- Quiroz, J., & Soria, J. (1994). Caracterización fenotípica del cacao Nacional de Ecuador. *Boletín Técnico. Estación Experimental Tropical Pichilingue*, (74), 1-16.
- Ramírez, B. (2013). Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador. <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>
- Ruiz Franco, U. I. (2016). *Barras de chocolate negro con la adición de NIBS de cacao (Theobroma Cacao L.) Ccn51 como un extensor alimenticio* (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).

- Salazar, E., Valenzuela, R., Aguilar, M., Aranda, N., Sotelo, A., Chire, G., & Ureña, M. (2020). Physicochemical properties and microbial group behavior of postharvest peruvian cocoa bean (*Theobroma cacao* L.). *Enfoque Ute*, 11(4), 48-56.
- Schwan, R. F., & Fleet, G. H. (Eds.). (2014). *Cocoa and coffee fermentations*. CRC Press.
- Solórzano, C. Y. E., Franco, K. J. B., García, D. A. T., Escobar, Á. O. F., Navarrete, Y. G. T., & Chang, J. F. V. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42-55.
- Suarez, O., Lares, M. D. C., Álvarez, C., & Liconte, N. (2021). Capacidad antioxidante de un chocolate oscuro de granos cacao orgánico sin fermentar Antioxidant capacity of a dark chocolate from organic and unfermented cocoa beans. *Revista Digital de Postgrado*, 10(1), 2244-761X.
- Tarqui, O. M. (2010). *Evaluación de Clones de cacao*. INIAP Archivo Historico.
- Torres-Moreno, M., Tarrega, A., & Blanch, C. (2021). Effect of cocoa roasting time on volatile composition of dark chocolates from different
- Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). pH and titratable acidity. *Food analysis*, 389-406.
- Umass, 2011. Analysis of Ash and Minerals. Obtenido de:  
<https://people.umass.edu/~mcclemen/581Ash&Minerals.html>
- Vassallo, Miguel. 2015. *Diferenciación y agregado de valor en la cadena ecuatoriana del cacao*. Quito: IAEN.
- Vera, J. 1993. Origen del cacao, botánica y clasificación del cacao en manual del cultivo de cacao. Segunda edición, Manual número 25. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP, Quito- Ecuador. p. 8-16. Vera, J. 1993. Origen del cacao, botánica y clasificación

del cacao en manual del cultivo de cacao. Segunda edición, Manual número 25. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP, Quito- Ecuador. p. 8-16.