



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA: AGROINDUSTRIAS**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,  
MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**“EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE SECADO DE DOS VARIEDADES DE  
CACAO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ATRIBUTOS  
SENSORIALES EN PASTA”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Agroindustrias**

**Línea de investigación:** Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socioecómico.

**Autor:** Nayelly Sofia España Acero

**Director:** Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz MSc.

Ibarra - 2023



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401992672	
APELLIDOS Y NOMBRES:	España Acero Nayelly Sofia	
DIRECCIÓN:	Ibarra, El Olivo	
EMAIL:	<a href="mailto:nspanaa@utn.edu.ec">nspanaa@utn.edu.ec</a>	
TELÉFONO FIJO:	(06)2291377	TELÉFONO MÓVIL: 0997355993

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación de métodos de secado de dos variedades de cacao sobre la actividad antioxidante y atributos sensoriales en pasta
AUTOR (ES):	España Acero Nayelly Sofia
FECHA: DD/MM/AAAA	13/11/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Luis Armando Manosalvas MSc.

#### 2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de la autora de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los trece días del mes de noviembre de 2023

LA AUTORA:

Nayelly Sofia España Acero

## CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

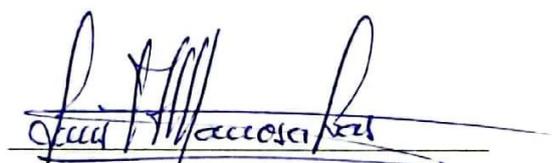
Ibarra, 13 de noviembre de 2023

Ing. Luis Armando Manosalvas MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Ing. Luis Armando Manosalvas MSc.

C.C.: 1001772134

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE SECADO DE DOS VARIEDADES DE CACAO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ATRIBUTOS SENSORIALES EN PASTA” elaborado por España Acero Nayelly Sofia, previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Luis Armando Manosalvas MSc.  
C.C.: 1001772134



Bioq. Valeria Olmedo MSc.  
C.C.: 1714505078



Ing. Juan Carlos de la Vega MSc.  
C.C.: 1002958856

## DEDICATORIA

*Con infinito amor este logro académico se lo dedico:*

*A mis padres Miguel España y Lorena Acero quienes, con su sacrificio diario, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional. Me han apoyado y alentado a continuar y no dejarme vencer por los obstáculos que se presentan en el camino. Es un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres.*

*A mis hermanos Miguel y Amairani por su amor, cariño y apoyo incondicional.*

*Ustedes son mi fuente de inspiración y motivación para salir adelante.*

*¡Los amo!*

*Naye*

## AGRADECIMIENTO

*Quiero agradecer infinitamente a Dios por colmarme de bendiciones y permitirme culminar una etapa muy importante en mi vida a pesar de los obstáculos y dificultades.*

*Como no agradecer a mis padres Miguel y Lorena, quienes incansablemente han trabajado bajo el ardiente sol y la lluvia para ayudarme alcanzar mis sueños. Sus valiosos consejos han sido el faro que me ha guiado hacia el camino del éxito.*

*Papi, te agradezco infinitamente por haberme enseñado el verdadero valor del esfuerzo y el trabajo duro. Gracias por ser mi ejemplo y motivarme a dar siempre lo mejor de mí. Mami, gracias por enseñarme el valor del amor y la bondad. Su cariño incondicional ha sido un regalo invaluable en mi vida.*

*A mis hermanos por todo el amor y cariño que me brindan. Gracias por ser una fuente constante de felicidad.*

*A mi novio, por ser parte de mi vida, por su comprensión, apoyo y ánimo en los momentos difíciles.*

*Con gratitud a la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas y permitirme la oportunidad de formarme a nivel profesional y personal. Así mismo a mi director de tesis Ing. Armando Manosalvas y asesores Bioq. Valeria Olmedo e Ing. Juan Carlos de la Vega, por su apoyo, guía y paciencia a lo largo de mi trabajo de investigación.*

*A la Asociación de Productores Lita, muy especialmente a la familia Cuasaluzán García, quienes me han extendido su mano y brindado su ayuda durante mi estancia en APL.*

*Finalmente, a todos mis amigos y amigas quienes han estado junto a mi brindándome su apoyo durante todo este proceso.*

***Nayelly España A.***

## RESUMEN EJECUTIVO

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es considerado un alimento funcional ya que contiene antioxidantes, como son: polifenoles, flavonoides, antocianinas y proantocianinas. Asimismo, posee propiedades organolépticas agradables al consumidor (sabor y aroma). Sin embargo, el desconocimiento de nuevas metodologías de secado que ejercen efectos desfavorables sobre la calidad de la pasta de cacao. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como propósito evaluar los efectos de los métodos de secado en marquesina y secadora rotatoria de lecho fluidizado sobre el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante y atributos sensoriales, tanto en el grano húmedo como en la pasta. Para esto, se utilizó un modelo factorial  $2^k$  ( $k=2$ ) donde los factores fueron el método de secado (Marquesina y Secadora Rotatoria) y la variedad (cacao Nacional y CCN-51) y las variables respuesta fueron polifenoles totales, actividad antioxidante, color, humedad y actividad de agua. El análisis estadístico de varianza (ADEVA) mostró que los factores afectan significativamente a las variables de respuesta. Donde, el tratamiento T4 (Secadora Rotatoria y Variedad CCN-51) registró mayor conservación de polifenoles (82.97 mg Ac. Gálico/g) y capacidad antioxidante (966.80  $\mu\text{m}$  Trolox/g). Asimismo, el análisis sensorial los atributos de acidez y amargor presentaron diferencias significativas en la pasta, por lo cual se considera que el tratamiento T2 (Marquesina y Variedad CCN-51) tuvo mayor aceptación por el panel de consumidores. Finalmente, los factores tuvieron un impacto significativo en las propiedades funcionales durante el secado. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa de la investigación.

**Palabras clave:** cacao, métodos de secado, actividad antioxidante, polifenoles totales.

## ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is considered a functional food as it contains antioxidants such as polyphenols, and flavonoids, anthocyanins and proanthocyanins. It also possesses pleasant organoleptic properties for consumers (taste and aroma). However, the lack of knowledge regarding new drying methodologies can have unfavorable effects on the quality of cocoa paste. Therefore, the purpose of this research was to evaluate the effects of two drying methods: 'Marquesina' and 'Rotary Fluidized Bed Dryer' on the content of total polyphenols, antioxidant capacity, and sensory attributes in both the wet cocoa beans and cocoa paste. For this purpose, a  $2^k$  factorial design ( $k=2$ ) was used, where the factors were the drying method (Marquesina and Rotary Dryer) and the cocoa variety (National and CCN-51), and the response variables were total polyphenols, antioxidant activity, color, moisture, and water activity. The statistical analysis of variance (ADEVA) showed that the factors significantly affected the response variables. Among the treatment, T4 (Rotary Dryer and CCN-51 variety) showed higher preservation of polyphenols (82.97 mg Gallic Acid/g) and antioxidant capacity (966.80  $\mu\text{m}$  Trolox/g). Among the treatments, T4 (Rotary Dryer and CCN-51 variety) showed higher preservation of polyphenols (82.97 mg Gallic Acid/g) and antioxidant capacity (966.80  $\mu\text{m}$  Trolox/g). Finally, the factors had a significant impact on the functional properties during drying. Thus, the alternative hypothesis of the research is accepted.

**Keywords:** cocoa, drying methods, antioxidant activity, total polyphenols.

## **LISTADO DE SIGLAS**

**CCN.** Colección Castro Naranjal

**INIAP.** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

**APL.** Asociación de Productores de Lita

**NTE.** Norma Técnica Ecuatoriana

**INEN.** Instituto Ecuatoriano de Normalización

**CIE.** Comisión Internacional de Iluminación

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	18
PROBLEMA.....	18
JUSTIFICACIÓN .....	19
OBJETIVOS .....	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos.....	20
HIPÓTESIS.....	21
Alternativa.....	21
Nula.....	21
CAPÍTULO I .....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
1.1. Cacao.....	22
1.1.1. Origen .....	22
1.1.2. Taxonomía .....	22
1.1.3. Botánica .....	23
1.1.4 Cultivo.....	23
1.1.5 Producción del Cacao en el Ecuador .....	24
1.2 Variedades de Cacao .....	25
1.2.1 Cacao Nacional o Arriba.....	25
1.2.2 Variedad Colección Castro Naranjal (CCN-51) .....	26
1.3 Composición Físico-Química del Grano de Cacao .....	27
1.4 Componentes Bioactivos del Cacao .....	27

1.4.1	Compuestos Fenólicos en el Cacao.....	28
1.4.1.1	Polifenoles en el Cacao.....	28
1.4.2	Actividad Antioxidante del Cacao .....	29
1.5	Proceso de Secado del Cacao .....	30
1.6	Fundamentos de la Eliminación del Agua en los Alimentos .....	31
1.6.1	Actividad de Agua ( <b>aw</b> ).....	31
1.6.2	Humedad.....	32
1.7	Métodos de Secado.....	33
1.7.1	Secado Natural .....	33
1.7.2	Secado Artificial .....	36
1.8	Cambios Físicos y Químicos Durante el Proceso de Secado .....	37
1.9	Efectos de los Parámetros de Secado Sobre la Calidad Funcional del Grano.....	38
1.9.1	Métodos de Secado Sobre la Actividad Antioxidante y Contenido de Polifenoles 38	
1.9.2	Variedad Sobre la Actividad Antioxidante y Contenido de Polifenoles.....	38
1.10	Parámetros de Calidad del Cacao .....	39
1.10.1	Grano Seco.....	39
1.10.2	Pasta De Cacao .....	39
1.10.3	Color .....	40
1.11	Psicrometría en el Secado.....	41
1.11.1	Propiedades de la Mezcla Aire-Vapor de Agua.....	42
1.11.2	Diagrama Psicrométrico.....	44
1.12	Cinética de Secado.....	44
1.12.1	Curvas De Secado .....	44
1.12.2	Curva De Velocidad De Secado .....	45
1.13	Características Sensoriales del Cacao.....	47

CAPÍTULO II.....	49
MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
2.1    Caracterización del Área de Estudio.....	49
2.1.1    Fase de Campo.....	49
2.1.2    Fase de Laboratorio.....	51
2.2    Materiales y Equipos.....	51
2.2.1    Especificaciones de los Equipos de Secado.....	51
2.3    Descripción de la Metodología.....	53
2.3.1    Cuantificación de los Principales Compuestos Fenólicos Responsables de la Actividad Antioxidante en el Cacao.....	54
2.3.2    Evaluación del Efecto de los Métodos de Secado en las Variedades de Cacao Sobre la Actividad Antioxidante en la Pasta.....	55
2.3.2.1    Diseño Experimental.....	56
2.3.2.2    Factores de Estudio.....	57
2.3.2.3    Unidad Experimental.....	57
2.3.2.4    Combinaciones entre Factores.....	58
2.3.2.5    Análisis de Varianza.....	58
2.3.2.6    Análisis Estadístico.....	59
2.3.2.7    Variables por Evaluarse.....	59
2.3.3    Determinación de los Atributos Sensoriales de Preferencia en la Pasta de Cacao	60
2.4    Manejo Específico del Experimento.....	61
2.4.1    Descripción del Proceso.....	63
2.4.1.1    Recepción y Pesado de Materia Prima.....	63
2.4.1.2    Secado.....	63
2.4.1.3    Selección y Clasificación.....	65
2.4.1.4    Pesado.....	66

2.4.1.5	Tostado.....	67
2.4.1.6	Descascarillado.....	68
2.4.1.7	Molienda.....	68
2.4.1.8	Moldeado y Empacado.....	69
2.4.1.9	Almacenado.....	69
CAPÍTULO III.....		70
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		70
3.1	Caracterización Funcional del Grano de Cacao.....	70
3.1.1	Contenido de Polifenoles Totales.....	71
3.1.2	Capacidad Antioxidante.....	72
3.1.3	Colorimetría.....	74
3.2	Evaluación de los Métodos de Secado en Pasta de Cacao.....	76
3.2.1	Polifenoles Totales.....	77
3.2.2	Capacidad Antioxidante.....	83
3.2.3	Humedad.....	89
3.2.4	Actividad de agua (aw).....	90
3.2.5	Colorimetría.....	91
3.2.6	Cinética de Secado.....	93
3.2.7	Curva de Velocidad de Secado.....	96
3.3	Determinación de los Atributos Sensoriales de Preferencia en la Pasta de Cacao.....	98
3.3.1	Aroma.....	99
3.3.2	Acidez.....	101
3.3.3	Amargor.....	102
3.3.4	Astringencia.....	103
3.3.5	Aceptabilidad General.....	105
CAPÍTULO IV.....		107

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	107
4.1 Conclusiones .....	107
4.2 Recomendaciones.....	107
BIBLIOGRAFÍA .....	109
ANEXOS .....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Cacao Nacional.....	26
<b>Figura 2</b> Colección Castro Naranjal (CCN-51). .....	26
<b>Figura 3</b> Requisitos Físicos y Calidad para los Granos de Cacao. ....	33
<b>Figura 4</b> Cambios Físicos y Químicos en el Secado del Cacao.....	37
<b>Figura 5</b> Representación Gráfica de los Parámetros de Color en la Escala CIE Lab. ....	41
<b>Figura 6</b> Diagrama psicrométrico de Carrier .....	44
<b>Figura 7</b> Curva de Secado.....	45
<b>Figura 8</b> Curva de Velocidad de Secado.....	46
<b>Figura 9</b> Propiedades Psicrométricas del Aire a la Presión Barométrica de la Parroquia de Lita .....	50
<b>Figura 10</b> Estructura de la mesa de madera con parantes. ....	57
<b>Figura 11</b> Secadora Rotatoria de Lecho Fluidizado.....	58
<b>Figura 12</b> Diagrama de Proceso de Obtención de Pasta de Cacao. ....	62
<b>Figura 13</b> Recepción y Pesado de Materia Prima. ....	63
<b>Figura 14</b> Secado en Marquesina.....	64
<b>Figura 15</b> Secado en Secadora Rotatoria. ....	65
<b>Figura 16</b> Medidor de Humedad. ....	65
<b>Figura 17</b> Proceso de Selección y Clasificación.....	66
<b>Figura 18</b> Pesado de Granos de Cacao.....	66
<b>Figura 19</b> Proceso de Tostado de Cacao .....	67
<b>Figura 20</b> Proceso de Descascarillado .....	68
<b>Figura 21</b> Molienda del Cacao.....	69
<b>Figura 22</b> Moldeado y Empacado de Pasta de Cacao.....	69
<b>Figura 23</b> Compuestos fenólicos y actividad antioxidante del grano de cacao. ....	70

<b>Figura 24</b> Compuestos Fenólicos del Grano de Cacao. ....	72
<b>Figura 25</b> Capacidad Antioxidante del Grano de Cacao.....	73
<b>Figura 26</b> Diagrama CIELab para Granos de Cacao. ....	76
<b>Figura 27</b> Compuestos Fenólicos en Pasta de Cacao.....	78
<b>Figura 28</b> Factores e Interacción que Influyen Sobre los Compuestos Fenólicos. ....	81
<b>Figura 29</b> Diferencia Mínima Significativa de Método de Secado. ....	81
<b>Figura 30</b> Capacidad Antioxidante en Pasta de Cacao. ....	84
<b>Figura 31</b> Factores e Interacción que Influyen Sobre la Capacidad Antioxidante. ....	85
<b>Figura 32</b> Diferencia Mínima Significativa de Método de Secado. ....	86
<b>Figura 33</b> Diferencia en la Capacidad Antioxidante entre las Variedades de Cacao. ....	87
<b>Figura 34</b> Humedad en Pasta de Cacao. ....	89
<b>Figura 35</b> Actividad de Agua en Pasta de Cacao.....	90
<b>Figura 36</b> Diagrama CIELab para Pasta de Cacao. ....	92
<b>Figura 37</b> Curva de Secado en Marquesina. ....	94
<b>Figura 38</b> Curva de Secado en Secadora Rotatoria.....	95
<b>Figura 39</b> Velocidad de Secado. ....	97
<b>Figura 40</b> Representación Gráfica de los Atributos Sensorial en Pasta de Cacao. ....	98
<b>Figura 41</b> Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Aroma para Pasta de Cacao.....	99
<b>Figura 42</b> Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Acidez para Pasta de Cacao.....	101
<b>Figura 43</b> Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Amargor para Pasta de Cacao.....	102
<b>Figura 44</b> Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Astringencia para Pasta de Cacao.....	103
<b>Figura 45</b> Gráfica de Aceptabilidad General de Pasta de Cacao. ....	105
<b>Figura 46</b> Curva de calibración con ácido gálico – Polifenoles totales .....	130
<b>Figura 47</b> Curva de calibración con Trolox – Capacidad Antioxidante - Método ABTS ....	135
<b>Figura 48</b> Curva de Secado.....	137
<b>Figura 49</b> Determinación de Color .....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Taxonomía del cacao. ....	22
<b>Tabla 2</b> Superficie, producción y rendimiento del cacao a nivel nacional. ....	25
<b>Tabla 3</b> Composición fisicoquímica del grano de cacao. ....	27
<b>Tabla 4</b> Compuestos fenólicos del grano de cacao. ....	29

<b>Tabla 5</b> Capacidad antioxidante del grano de cacao. ....	30
<b>Tabla 6</b> Principales métodos de secado del cacao utilizando energía solar. ....	35
<b>Tabla 7</b> Principales tipos de secadores artificiales. ....	36
<b>Tabla 8</b> Características de un grano bien seco. ....	39
<b>Tabla 9</b> Requisitos para pasta de cacao. ....	40
<b>Tabla 10</b> Datos de las condiciones ambientales del aire por día. ....	49
<b>Tabla 11</b> Condiciones climatológicas de la Parroquia de Lita. ....	50
<b>Tabla 12</b> Condiciones climatológicas de las áreas de estudio. ....	51
<b>Tabla 13</b> Materiales y Equipos empleados en fase de campo. ....	52
<b>Tabla 14</b> Materiales y Equipos empleados en fase de laboratorio. ....	53
<b>Tabla 15</b> Factores de Estudio. ....	57
<b>Tabla 16</b> Nomenclatura de los tratamientos. ....	58
<b>Tabla 17</b> Modelo de ADEVA. ....	59
<b>Tabla 18</b> Variables evaluadas en el producto final. ....	60
<b>Tabla 19</b> Valores de los componentes del color ....	74
<b>Tabla 20</b> Análisis de Varianza para las variables evaluadas en pasta de cacao. ....	77
<b>Tabla 21</b> Resumen de las Propiedades Funcionales y Características Físicas en Pasta de Cacao. .....	91
<b>Tabla 22</b> Valores de los componentes del color. ....	92

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Prueba de Kruskal Wallis. ....	122
<b>Anexo 2</b> Análisis de Varianza ....	123
<b>Anexo 3</b> Prueba de Rangos. ....	124
<b>Anexo 4</b> Prueba DMS. ....	124
<b>Anexo 5</b> Prueba de Tukey al 5% ....	125
<b>Anexo 6</b> Prueba de Friedman ....	126
<b>Anexo 7</b> Preparación de la Muestra para analizar Compuestos Fenólicos y Capacidad Antioxidante. ....	127
<b>Anexo 8</b> Determinación de compuestos fenólicos o polifenoles totales ....	129
<b>Anexo 9</b> Determinación de la capacidad antioxidantes por el método de decoloración del catión radical ABTS·+ ..... .....	132

<b>Anexo 10</b> Determinación De Humedad (Método INIAP MO-LSAIA-01.01).....	136
<b>Anexo 11</b> Curva de Secado.....	137
<b>Anexo 12</b> Cálculo de Velocidad de Secado.....	138
<b>Anexo 13</b> Determinación del área de secado.....	138
<b>Anexo 14</b> Comportamiento de humedad y velocidad de secado.....	139
<b>Anexo 15</b> Determinación colorimétrica.....	141
<b>Anexo 16</b> Formulario para registrar los resultados de la evaluación.....	143
<b>Anexo 17.</b> Resultados de Análisis de Laboratorio.....	144

## INTRODUCCIÓN

### PROBLEMA

En los últimos años en América Latina, se han desarrollado diferentes cadenas agroindustriales que muestran fuertes actividades (incluyendo cambio técnico e inversión), a fin de obtener cadenas de valor tan efectivas para las industrias. Mientras tanto, los vínculos cacaoteros ecuatorianos se encuentran obstaculizados en la estructura de producción, comercialización y exportaciones desde hace unos años, debido a que Ecuador exporta mayoritariamente cacao sin elaboración ni diferenciación; la cadena no genera valor agregado. Aunque es fundamental en el proceso que conecta los extremos de la cadena agroindustrial, esta etapa se lleva a cabo mediante sistemas sencillos de fermentación, secado, clasificación, almacenamiento, transporte y comercialización. Sin embargo, se observa una excesiva presencia de intermediarios y procesadores (Vassallo, 2017).

La fermentación y el secado desempeñan un papel crucial en el proceso de beneficiado del cacao (*Theobroma cacao L.*), donde el propósito del secado es eliminar el exceso de humedad de los granos, al finalizar la fermentación las almendras contienen aproximadamente un 50% a 56% de humedad, la cual debe reducirse durante la etapa de secado a un rango entre 7% y 8%, límite que se considera crítico para prevenir el desarrollo de hongos (mohos). Cuando la humedad es inferior al 6% las almendras se vuelven quebradizas, pero si no se seca al punto indicado son más susceptibles al ataque de hongos, que puede producir micotoxinas patógenas (ocratoxina) que representa un riesgo para la salud (Peñaherrera, 2021).

En cuanto a variedades de cacao, la variedad CCN-51 es preferida por varios agricultores debido a su alto rendimiento y tolerancia de enfermedades. Sin embargo, su utilización como materia prima ha recibido críticas de parte de algunos sectores, debido a sus escasas características de sabor y aroma (bajas tonalidades de sabor a fruta y rasgos florales,

sumadas a un excesivo amargor y alta astringencia) (Pallares, Estupiñán, et al., 2016). Por esta razón, comprender cómo evoluciona el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante en el cacao CCN-51 y el cacao Nacional durante el proceso de fermentación y secado es esencial para iniciar la elaboración de pasta de cacao.

Por otra parte, cuando el grano es sometido al proceso de secado, pero en condiciones no aptas, ejerce efectos desfavorables que afectan la calidad del producto final. Estos efectos pueden manifestarse como cambios físicos y químicos, entre los cuales destaca la reducción de la actividad antioxidante del cacao que es afectada por factores como el genotipo, las condiciones agroclimáticas, el proceso de beneficio (fermentación y secado) y el proceso de industrialización. Durante el secado, se observa una cierta pérdida de componentes polifenólicos presentes en el grano, lo que conlleva una disminución en su capacidad antioxidante (Pallares, Estupiñán, et al., 2016).

La principal problemática de sabores y olores indeseables varía mucho el contenido polifenólico total. Además, la calidad final de los granos de cacao se ve afectada negativamente por la falta de homogeneidad y la ineficiente aplicación de ciertos métodos de secado. Desde otro punto de vista Peñaherrera (2021), señala que el desconocimiento de nuevas metodologías para el proceso de secado del cacao repercute en la calidad final del producto, generando pérdidas económicas importantes. Por estas razones, el interés por realizar el estudio tiene como finalidad evaluar si los métodos de secado del cacao influyen sobre la actividad antioxidante en la pasta, así como también los atributos sensoriales deseados por las grandes industrias.

## **JUSTIFICACIÓN**

El cacao es un producto que posee propiedades organolépticas (sabor y aroma) que le son otorgadas debido a las condiciones en las que se produce, tanto en términos de clima como

por factores relacionados con las características de los suelos y factores muy específicos de localización (CEPAL, 2016). También es considerado un alimento funcional debido a que es una fuente natural de antioxidantes, específicamente en polifenoles (Pallares, Estupiñán, et al., 2016). En la actualidad, los consumidores están cada vez más interesados por los productos de cacao que presentan características excepcionales, es por ello que la aplicación de correctos métodos de secado del cacao son primordiales para mantener la actividad antioxidante y propiedades sensoriales que cumplan con las expectativas del consumidor (Peñaherrera, 2021).

El secado es indispensable para facilitar el transporte, manejo, almacenamiento y comercialización del grano de cacao. La composición química de los granos de cacao al final del proceso de secado es un factor importante para el desarrollo y formación de varios sabores y olores (Peñaherrera, 2021). Los compuestos volátiles, especialmente los aldehídos y pirazinas, le otorgan sabores básicos como dulzor, las purinas le confieren amargor, los polifenoles la astringencia y los ésteres producen sabores frutales, mientras que el aroma del chocolate se desarrolla a partir de la muerte del embrión con la disminución de las antocianinas (Guzmán Duque & Gómez Prada, 2014).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar los métodos de secado de dos variedades de cacao sobre la actividad antioxidante y atributos sensoriales en pasta.

### **Objetivos Específicos**

- Cuantificar los principales compuestos fenólicos responsables de la actividad antioxidante en el cacao.
- Evaluar el efecto de los métodos de secado en las variedades de cacao sobre la actividad antioxidante en la pasta.

- Determinar los atributos sensoriales de preferencia en la pasta de cacao.

## **HIPÓTESIS**

### **Alternativa**

- Los métodos de secado en dos variedades de cacao influyen sobre el contenido de la actividad antioxidante, compuestos fenólicos y atributos sensoriales.

### **Nula**

- Los métodos de secado en dos variedades de cacao no influyen sobre el contenido de la actividad antioxidante, compuestos fenólicos y atributos sensoriales.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Cacao

#### 1.1.1. Origen

El cacao es originario de los bosques húmedos tropicales de los Andes en América del Sur. Su nombre botánico es *Theobroma cacao*, definido por primera vez por Carolus Linnaeus, el padre de la taxonomía moderna de plantas, publicado en su libro clásico *Systema Naturae* a mediados del siglo XVIII (Umaharan, 2018).

Según previas investigaciones, el cacao surge de la cuenca alta del Amazonas y sus afluentes como el Putumayo y el Napo. Se menciona que el cacao fue domesticado y consumido por mayas y aztecas. Estas comunidades procesaban el cacao y lo consumían como una bebida amarga, es por ello que se le atribuye propiedades medicinales y afrodisíacas. Además, lo utilizaban como moneda de cambio (Perea, 2019).

#### 1.1.2. Taxonomía

La Tabla 1 presenta la clasificación taxonómica del cacao (*Theobroma cacao* L.) según Arvelo et al., (2017), es la siguiente:

**Tabla 1**

*Taxonomía del cacao.*

---

<b>Reino</b>	<i>Vegetal</i>
<b>Subreino</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Subclase</b>	<i>Dilleniidae</i>
<b>Orden</b>	<i>Malvales</i>
<b>Familia</b>	<i>Esterculiaceae</i>

**Género**                    *Theobroma*  
**Especie**                 *Theobroma cacao* L.

---

Obtenido de: (Arvelo et al., 2017)

### **1.1.3. Botánica**

*Theobroma cacao* es un árbol de tamaño mediano que puede llegar a medir hasta 20 m de altura, aunque normalmente alcanza los 5-8 m. Durante los primeros 12 a 15 meses de crecimiento, el tallo crece de forma vertical, conocida como ortotropismo. Sin embargo, después de este período, el árbol desarrolla de 4 a 5 ramas secundarias, llamadas "horquetas", que crecen de manera horizontal, conocida como plagiotropismo. Las hojas son grandes, brillantes y de color verde oscuro, con dimensiones que oscilan entre 15 a 50 cm de largo y 5 a 20 cm de ancho, presentando un apéndice acuminado. Sus flores son de color rosa pálido o blanco, dependiendo de la variedad. Los frutos del árbol de cacao son drupas o bayas llamadas mazorcas, que varían en tamaño de 10 a 42 cm y tienen formas variables, como oblongas, elípticas, ovadas, obovadas, esféricas y oblatas. La superficie de las mazorcas puede presentar una textura lisa o rugosa, y su color puede ser violeta o verde en el estado inmaduro, dependiendo del genotipo. Cada mazorca de cacao puede contener entre 30-60 semillas (dependiendo de la variedad), que consta de dos cotiledones y un embrión, todos protegidos por una capa externa llamada testa. El color, tamaño y forma de los granos de cacao varían según el tipo (Perea, 2019).

### **1.1.4 Cultivo**

El cacao es una planta cultivada en zonas tropicales que se desarrolla entre 10° latitud norte y 10° latitud sur del Ecuador. En Ecuador, la temperatura promedio anual para el cultivo es de 25 °C, con un rango mensual óptimo de temperaturas medias entre 24 °C y 26 °C. Las áreas donde las temperaturas mensuales exceden los 31 °C e inferiores a 20 °C no son adecuadas para el cultivo comercial del cacao. La producción se concentra en zonas que

experimentan precipitaciones anuales que varían entre 1250 y 3000 mm. El cultivo de cacao abarca altitudes desde el nivel del mar hasta los 800 msnm. No obstante, en plantaciones cercanas a la línea ecuatorial, es común que se desarrolle en altitudes más elevadas, fluctuando entre los 1000 y 1400 msnm. Requiere suelos profundos, con textura arcillo-arenosos con 50% de arena, 30 a 40% de arcilla, buena capacidad para retener agua, drenaje moderado, estructura granular, buena fertilidad y al menos un 3% de contenido de materia orgánica. La región Costa concentra la mayor superficie cosechada de cacao, al igual que la Amazonía y en menor proporción en la región Sierra (Arvelo et al., 2017).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el sector cacaotero aporta con el 5% de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15% de la PEA rural, constituyendo una base fundamental de la economía familiar costeña del país, las estribaciones de las montañas de los Andes y la Amazonía de Ecuador (ANECACAO, 2019).

### ***1.1.5 Producción del Cacao en el Ecuador***

De acuerdo con SIPA, (2021b), a nivel nacional el rendimiento para el año 2022 fue de 0.66 Tn/ha de cacao almendra seca, esto fue 10% mayor que el año 2021. Los datos de producción registran a nivel nacional de 337.149 toneladas con una superficie sembrada de 591.557 hectáreas. Y una superficie cosechada de 509.179 hectáreas, como se indica en la Tabla 2. Tanto la superficie sembrada y cosechada registran incrementos en los últimos tres años registrados (2020-2022).

**Tabla 2**

*Superficie, producción y rendimiento del cacao a nivel nacional.*

AÑO	SUPERFICIE (ha.)		PRODUCCIÓN (toneladas)	RENDIMIENTO (Tn/ha)
	Plantada	Cosechada		
2020	590.579	527.347	327.903	0.62
2021	626.962	543.547	302.094	0.56
2022	591.557	509.179	337.149	0.66

Obtenido de: SIPA, (2021b).

## **1.2 Variedades de Cacao**

En Ecuador, de acuerdo con la normativa INEN 176:2018, existen dos variedades principales las cuales son:

### **1.2.1 Cacao Nacional o Arriba**

El Cacao Fino de Aroma o Nacional (Figura 1), es una variedad tradicional de cacao originaria de Ecuador, denominado “cacao arriba” debido a que se cultivaba en las áreas de la cuenca alta de los ríos Daule y Babahoyo, que forman parte del Río Guayas. En aquel tiempo, esta almendra gozaba de gran renombre entre los compradores extranjeros que adquirirían cacao ecuatoriano, y fue así como surgió el término "cacao arriba" (Chica, 2020).

El cacao nacional posee un perfil de aroma y sabor distintivo que resulta altamente valorado por los fabricantes de chocolate. Su producción representa únicamente el 5% del total a nivel mundial. Ecuador se destaca como un productor característico de la variedad Nacional, que a su vez comprende el 63% de la producción mundial de cacao. Este cacao ha sido reconocido en el mercado internacional durante varios siglos debido a su exquisito sabor. Es ampliamente utilizado en la elaboración de chocolates refinados (ANECACAO, 2015).

**Figura 1**

*Cacao Nacional.*



Fuente: Elaboración propia

**1.2.2 Variedad Colección Castro Naranjal (CCN-51)**

Según ANECACAO, (2015), define como un cacao clonado de origen ecuatoriano resistente a enfermedades, de alta productividad y calidad, después de varias investigaciones, el agrónomo ambateño Homero Castro Zurita reconoce el llamado cacao clonado CCN-51 (Figura 2) cuyo significado es “Colección Castro Naranjal”. Además, según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), el cacao CCN 51 se clasifica como cacao a granel, es decir, no posee muchas de las características florales, de nuez y frutales apreciadas en las variedades premium de sabor excepcional (Jaimez et al., 2022).

**Figura 2**

*Colección Castro Naranjal (CCN-51).*



Fuente: Elaboración propia.

### 1.3 Composición Físico-Química del Grano de Cacao

El conocimiento sobre la composición físico-química del cacao (Tabla 3) es importante, ya que desempeña un papel clave durante la optimización de las condiciones de procesamiento para obtener una pasta de calidad.

**Tabla 3**

*Composición fisicoquímica del grano de cacao.*

Componente	Variedad de Cacao	
	Nacional	CCN-51
Acidez	0.82±0.03	0.61±0.03
pH	5.18±0.04	5.36±0.01
Humedad	6.03±0.10	6.00±0.09
Proteína	8.60±0.20	8.08±0.25
Grasa	50.87±0.19	51.02±0.24
Ceniza	2.23±0.08	2.73±0.08
Carbohidratos totales	32.28±0.46	32.17±0.11
Fibra	4.64±0.47	4.28±0.01

Fuente: (Andrade et al., 2019)

### 1.4 Componentes Bioactivos del Cacao

Los granos de cacao y sus productos derivados han cautivado cada vez más atención debido a su importante contenido de polifenoles en comparación con otros alimentos ricos en estos compuestos, como el té, el vino tinto, el acai y el arándano. Los polifenoles presentes en el cacao se dividen principalmente en tres grupos; catequinas o flavan-3-oles que comprenden el 37%; procianidinas 58%; y antocianinas 4% (Dang & Nguyen, 2019).

La catequina más importante y dominante en los granos de cacao es la epicatequina, que representa alrededor del 35% de la cantidad total de catequinas, es un componente de los taninos del cacao que son responsables de los cambios de color y del regusto astringente de los granos y los productos elaborados con ellos. El sabor amargo de la epicatequina es

indeseable; por lo tanto, los productores intentan reducir la cantidad de este flavonoide en los productos terminados (Urbańska et al., 2019).

Además de los polifenoles, el cacao es rico en metilxantinas, compuestos bioactivos que tienen efectos fisiológicos en varios sistemas corporales, incluidos los sistemas nervioso central, gastrointestinal, respiratorio y renal. La teobromina (3.7%) y la cafeína (0.2%) son las principales metilxantinas presentes en el cacao, siendo la cafeína responsable de las funciones de defensa contra los herbívoros e infecciones en las plantas de cacao (Melo et al., 2021a).

#### ***1.4.1 Compuestos Fenólicos en el Cacao***

Los compuestos fenólicos están relacionados con las propiedades organolépticas de los alimentos de origen vegetal, y en particular, los taninos condensados o las proantocianidinas se asocian con el efecto astringente de muchas frutas, como el cacao, al momento de ser cosechado. Además, se encargan de prevenir el desarrollo de enfermedades crónicas no infecciosas, como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, aumentan la resistencia a los trastornos coronarios y cardíacos, previenen la agregación plaquetaria, estimulan la producción de hormonas, afectan positivamente el metabolismo de los lípidos y participan en otras funciones biológicas, como la protección de la piel (Mikołajczak & Tańska, 2021).

##### **1.4.1.1 Polifenoles en el Cacao.**

El cacao contiene una alta cantidad de polifenoles, los cuales son compuestos fitoquímicos que se almacenan en las células pigmentarias de los cotiledones. Melo et al., (2021b), Oracz et al., (2020) y Samaniego et al., (2020) mencionan que el genotipo, la ubicación geográfica, cosecha y postcosecha tiene un impacto significativo en los compuestos fenólicos presentes en los granos de cacao. Adicionalmente, Alean et al., (2016) menciona que la temperatura, el tiempo de secado y la humedad del grano también influyen sobre la degradación de polifenoles. También, estos granos pueden variar en color, desde blanco hasta

morado oscuro, dependiendo de su contenido. Asimismo, estos compuestos son responsables de ciertos atributos sensoriales, como el sabor amargo y astringente (Muñoz, 2018).

Las almendras de cacao son conocidos como una fuente de polifenoles dietéticos. El contenido total de polifenoles en los granos de cacao frescos, sin grasa, es aproximadamente del 15- 20%, mientras que en los granos fermentados es aproximadamente del 5%. Además, las condiciones durante el procesamiento del grano de cacao y la elaboración del chocolate pueden provocar la degradación de los polifenoles (Plaza et al., 2017).

A continuación, se presenta un resumen de los datos obtenidos en diferentes estudios llevado a cabo por varios autores (Tabla 4), donde investigan la variación de polifenoles totales en el cacao procedente de distintas ubicaciones geográficas.

**Tabla 4**

*Compuestos fenólicos del grano de cacao.*

<b>Variedad de Cacao</b>	<b>Lugar</b>	<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Polifenoles Totales (mg Ac. Gálico/g)</b>	<b>Referencias</b>
Nacional	Portoviejo	53	24-31	47.37±7.02	(Samaniego et al., 2020)
	Vinces	17	24-34	36.83 ± 7.89	
	Lago Agrio	300	21-30	52.86±12.40	(Burbano, 2020)
	Orellana	285	20-31	50.02	
CCN-51	Santander	693	27	36.68±2.08	(Pallares et al., 2016)
	Tolima	770	30	95.41±2.50	(Borja et al., 2022)

#### **1.4.2 Actividad Antioxidante del Cacao**

Las propiedades antioxidantes del cacao están influenciadas por algunos factores como el genotipo, las condiciones agroclimáticas, el procesamiento (fermentación y secado) y la industrialización (Tello et al., 2020). Cabe recalcar que, debido a la variedad y el procesamiento

de elaboración de pasta, es poco probable que la proporción de actividad antioxidante presente en los granos sea la misma que en los productos terminados (Vertuani et al., 2014). Durante las fases de propagación y posterior tostado se registra una pérdida sustancial de los componentes polifenólicos presentes los granos, reduciendo su capacidad antioxidante y afectando la funcionalidad del grano, como agente antioxidante y alimento funcional (Pallares, Estupiñán, et al., 2016). La información recopilada en esta investigación literaria se resume en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Capacidad antioxidante del grano de cacao.*

<b>Variedad de Cacao</b>	<b>Lugar</b>	<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Capacidad Antioxidante (<math>\mu\text{mTrolox/g}</math>)</b>	<b>Referencias</b>
Nacional	Milagro	17	24	959.81±80.75	(Muñoz, 2018)
	Tena	510	22-31	1015.05±130.28	(Muñoz, 2018)
CCN-51	Lita	571	18-23	2082.27	(Morales, 2022)
	Santander	693	27	404.20±53.00	(Pallares et al., 2016)
	Perú	360	30	430.13±0.56	(Nazario et al., 2018)

### 1.5 Proceso de Secado del Cacao

En el proceso de secado, se producen transformaciones físicas y químicas que no se completaron durante la etapa de fermentación. Estas transformaciones son esenciales para el desarrollo del sabor y aroma característicos del chocolate, además de contribuir a la disminución de la amargura de los granos. De acuerdo con Pérez & Contreras, (2017), al sacar el cacao del recipiente de fermentación, puede tener un contenido de humedad cercano al 65%, el cual debe reducirse hasta alcanzar un nivel entre el 6.5 a 7.0 %. Es importante tener en cuenta que los granos secos no den superar el 8% debido a su susceptibilidad a la aparición de moho, pero tampoco debe estar por debajo del 6%, ya que esto ocasionaría que los granos se vuelven frágiles y quebradizos.

Se sugiere llevar a cabo el proceso de secado en dos etapas: el pre-secado y el secado principal. El pre-secado tiene como objetivo eliminar la acidez presente en el grano mediante la evaporación de los componentes ácidos que quedan en la almendra tras el proceso de fermentación. Si el cacao fermentado se traslada directamente al patio de secado o a la secadora mecánica, existe el riesgo de que se forme una costra dura alrededor del grano, lo que impediría que los ácidos salgan del interior del grano. Por esta razón, es importante permitir que los granos de cacao reposen durante el primer día de secado, ya sea extendido en una capa gruesa o en montones. Durante este día, es necesario voltear el cacao de 3 a 4 veces para que el olor ácido disminuya lo suficiente (Arvelo et al., 2017).

Para asegurar un secado uniforme y facilitar la evaporación de la humedad y los ácidos volátiles, es esencial girar los granos de cacao de forma periódica. Esto permite una distribución homogénea del calor, lo que garantiza la remoción eficiente de la masa de cacao y contribuye al proceso de secado. Además, el secado debe ser lento y gradual caso contrario los granos se ponen duros, aplastados y arrugados (Quintana & García, 2021).

## **1.6 Fundamentos de la Eliminación del Agua en los Alimentos**

La disminución del contenido de agua en los alimentos contribuye de forma importante a la conservación del mismo, ya que reduce la posibilidad de su alteración microbiológica y también de otros mecanismos de deterioro (Singh & Heldman, 2014).

### **1.6.1 Actividad de Agua ( $a_w$ )**

Después del secado, todas las transformaciones biológicas, químicas y físicas que experimenta un grano de cacao están influenciadas por la cantidad de agua libre o disponible presente en su interior, lo que se conoce como actividad del agua ( $a_w$ ). La cantidad de agua se representa como porcentaje, que indica la proporción del peso del agua con respecto al peso del cacao. Entre el 7 al 8% de humedad del grano es un rango seguro para prevenir el deterioro

-aw correspondiente a 0.67, lo que puede garantizar que los microorganismos no dañaran el cacao durante el almacenamiento (AGROBIZ, 2020).

Cardona, (2019) destaca la importancia de la actividad de agua como un parámetro esencial para determinar tanto el método como el tiempo de conservación adecuado para cada tipo de alimento. Por consiguiente, es crucial tener en cuenta este aspecto, el cual se expresa en valores que van de 0 a 1. A medida que la actividad de agua se aleja de 1, se dificulta la actividad biológica, lo que facilita la conservación y prolonga la vida útil del alimento. Fontana, (2008) señala que cuando los valores de actividad de agua (aw) son inferiores a 0.6, no se produce proliferación microbiana.

La actividad de agua ( $a_w$ ) se vincula al contenido de agua de un alimento, incluyendo tanto el agua libre como el agua ligada. Es una medida que refleja la cantidad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos y la actividad enzimática durante el almacenamiento y conservación de los alimentos. También es fundamental en las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en el sistema y su relación con la estabilidad de los alimentos, como el pardeamiento enzimático y los cambios estructurales por acción enzimática u oxidación lipídica (Cardona, 2019; Singh & Heldman, 2014).

### **1.6.2 Humedad**

El agua se elimina en gran cantidad mediante difusión en fase líquida o vapor, a través de la estructura inferior del alimento y depende de la transferencia de materia por convección hacia la superficie del producto (Singh & Heldman, 2014).

El valor máximo que establece la NTE INEN 176, (2018) (Figura 3) para la humedad es 7%. Valores menores provocan que los granos se vuelvan frágiles y quebradizos, lo que disminuye la calidad y su valor comercial dada su dependencia del peso del grano. Por el contrario, si el secado no es completo y el valor de humedad supera el 8%, crea

condiciones para el desarrollo de mohos, además, se origina acidez en los granos y no se completa la formación del aroma y sabor (Arvelo et al., 2017; Gil et al., 2021).

### Figura 3

#### *Requisitos Físicos y Calidad para los Granos de Cacao.*

Requisitos	Cacao Fino			Cacao CCN51		Método de ensayo
	A.S.S.S	A.S.S	A.S.E	C.S.S	C.S.C	
Humedad, máximo, %*	7	7	7	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos, g	> 130	> 120 a 130	100 a 120	> 125	110-125	<sup>a</sup>
Granos fermentados, mínimo, %	75	65	53	68	55	NTE INEN-ISO 1114
Granos violetas, máximo, %	15	21	25	18	26	NTE INEN-ISO 1114
Granos pizarrosos, máximo, %	9	12	18	12	15	NTE INEN-ISO 1114
Granos mohosos, máximo, %	1	2	4	2	4	NTE INEN-ISO 1114
TOTALES (análisis sobre 100 granos), mínimo	100	100	100	100	100	
Granos defectuosos, máximo, %	0	1	3	1	3	<sup>b</sup>
Material relacionado al cacao, máximo, %	1	1	1	1	1	<sup>b</sup>
Material extraño, máximo, %	0	0	0	0	0	<sup>b</sup>

\* El símbolo % (por ciento) representa al número 0,01, que expresa a la fracción másica.

<sup>a</sup> masa determinada por medio de una balanza u otro instrumento equivalente.

<sup>b</sup> determinado en 500 g de muestra.

NOTA. Se permite la presencia de granza solo en el Cacao A.S.E y en el Cacao C.S.C en un máximo del 1,5 %

Fuente: (NTE INEN 176, 2021)

## 1.7 Métodos de Secado

### 1.7.1 *Secado Natural*

La eficiencia del secado natural depende de la radiación solar (temperatura) y el flujo de aire, los cuales se encarga de remover la humedad desprendida de los granos y transferir parte de su energía calórica. La velocidad de secado aumenta con una mayor radiación solar y mayor velocidad del viento, el cual demora entre 3 y 12 hasta quince días. Otros factores importantes son el tipo de superficie sobre la cual se coloca el cacao, el grosor de la capa y la remoción de los granos (AGROBIZ, 2020).

La exposición al sol tiene algunas desventajas, como estar expuestos al polvo y otras formas de contaminación durante el proceso de secado. Además, dado que los granos deben secarse en capas delgadas, se requieren áreas de secado considerablemente extensas. En condiciones de lluvia, el proceso de secado puede demorar hasta 3 semanas, lo cual puede propiciar el desarrollo de moho, con consecuencias negativas en cuanto al sabor y el color del cacao, además de aumentar el riesgo de contaminación por micotoxinas. Además, cuando el sol es fuerte, debe ser necesario cubrir los granos para evitar que la cubierta de la semilla se seque demasiado rápido y se arrugue (Schwan & Fleet, 2015).

De acuerdo con Peñaherrera, (2021), en la Tabla 6 se describe los principales métodos de secado de cacao aplicando la luz solar.

**Tabla 6**

*Principales métodos de secado del cacao utilizando energía solar.*

<b>Método de secado</b>	<b>Características</b>	<b>Condiciones</b>
Bandejas Rohan	Este método implica disponer y esparcir los granos de cacao en camillas o bandejas hechas de madera, y luego exponerlos directamente al sol sobre largueros elevados, a una altura de aproximadamente 50 cm, con el propósito de evitar la influencia de la humedad del suelo.	-La madera debe estar libre de olores, sabores y colores que se absorban en el cacao. -La temperatura no debe superar los 50°C.
Esterillas	El proceso implica ubicar el grano en tendales o esterillas elaboradas con bambú, los cuales quedan expuestos al sol. De esta manera, es posible enrollar y desenrollar las esterillas para llevar a cabo el secado o almacenamiento del cacao.	-La temperatura no debe superar los 50°C.
Secadero tipo Elba	En el caso de plantaciones de tamaño considerable, se sugiere utilizar el secadero tipo Elba. Este sistema implica situar el cacao fermentado en múltiples camillas de madera que se desplazan sobre rieles y están resguardadas por un techo fijo o móvil.	-La madera debe estar libre de olores, sabores y colores que se absorban en el grano. -La temperatura no debe superar los 50°C.
Secado en piso de cemento	Este método implica ubicar los granos de cacao fermentados en patios de cemento, ladrillos o madera, y exponerlos directamente al sol, con o sin la protección de techos móviles.	Es importante evitar el uso de los patios de secado para cacao en el secado de otros productos que desprendan olores fuertes, como el coco o el pescado.
Marquesinas y túneles de secado	Estas construcciones, ya sea en madera o metal, cuentan con una cubierta de plástico especial o policarbonato que permite el paso de la radiación solar. La superficie de secado está compuesta por mesones elevados, generalmente hechos de esterillas, y en ocasiones, de mallas plásticas con una apertura de 0.4 x 0.4 cm.	En marquesinas y túneles de secado depende de las condiciones climáticas del lugar.

Obtenido de: Peñaherrera, (2021).

### 1.7.2 *Secado Artificial*

El secado artificial de los granos de cacao comprende en colocar las almendras fermentados en unidades especiales diseñadas que proporcionan calor y ventilación (Tabla 7). Esto suele ser para acelerar el secado y aumentar la producción general, evitar el deterioro y mantener la calidad donde las condiciones climáticas para el secado al sol son desfavorables. Las temperaturas utilizadas son mucho más altas y, como resultado, es posible que no se completen los procesos enzimáticos que mejoran el sabor y color, lo que da como resultado productos de menor calidad, como granos con fuerte sabor ácido (Schwan & Fleet, 2015).

La velocidad de secado inicial debe ser lenta, con remociones frecuentes. Esto asegura una eliminación uniforme de la humedad y, al mismo tiempo, permite que las reacciones bioquímicas necesarias para generar los precursores del sabor y el aroma se desarrollen completamente. Esto se logra manteniendo la temperatura del grano a 60 °C o menos y secando durante al menos 48 h. En 1938, Wilboux propuso un secado de 20 h en lechos de 10 cm a una temperatura del aire de 90 °C con mezclado continuo, seguido de un acabado a 45-50 °C en lechos de 15-20 cm (Schwan & Fleet, 2015).

#### **Tabla 7**

*Principales tipos de secadores artificiales.*

<b>Tipos de secadores</b>	<b>Características</b>
Secadores de bandeja	-Secador de anaqueles, compartimentos o gabinete. -Equipado con un ventilador y resistencias eléctricas que producen aire caliente. -El aire caliente circula a través de las bandejas.
Secadores rotatorios	-Secador de tipo cilindro rotatorio. -El aire caliente se distribuye y dispersa a lo largo del cilindro mientras rota de forma paralela.
Secador de túnel	-Los granos de cacao dispuestos en carretas son transportados a través de un túnel donde entran en contacto con gases calientes.

---

Secador de tambor	-Es un cilindro metálico rotatorio. -Se calienta intrínsecamente con gas. -Se produce una transferencia de calor muy eficaz desde la pared de la carcasa caliente hasta el producto sólido
-------------------	--

---

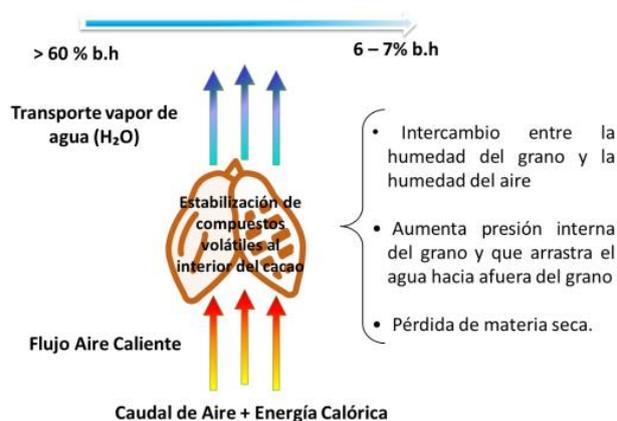
Obtenido de: Peñaherrera, (2021)

## 1.8 Cambios Físicos y Químicos Durante el Proceso de Secado

Durante el proceso de secado (Figura 4), las reacciones bioquímicas que comenzaron con la fermentación continúan y le dan las características sensoriales al cacao. Los primeros tres días de secado son fundamentales para la estabilidad de estas reacciones que influyen en el color, sabor y aroma. Durante el proceso de secado, se inicia la conocida reacción de Maillard y la formación de los compuestos de Amadori. Sabiendo que los compuestos de Amadori tienen alta reactividad térmica, el secado tiene un gran impacto sobre el aroma del cacao (AGROBIZ, 2020). Además, esta reacción contribuye a la formación de sustancias reductoras (por ejemplo, melanoidinas) cuyo poder reductor es responsable de su actividad de eliminación de radicales libres, lo que aumenta el efecto antioxidante (Batista et al., 2016).

### Figura 4

*Cambios Físicos y Químicos en el Secado del Cacao.*



Fuente: (AGROBIZ, 2020).

También se produce un cambio en los colores, y aparece un tono café cenizo o marrón, resultado de los compuestos fenólicos. Este es el color característico del cacao fermentado y secado adecuadamente. No obstante, un secado rápido y agresivo no permite obtener una

deshidratación uniforme y detiene la hidrólisis enzimática, lo que produce almendras de color púrpura con un sabor astringente. Además, provoca un endurecimiento rápido de la testa o cascarilla, lo cual impide la salida o difusión de los ácidos volátiles generando almendras con sabor ácido (Parra, 2014).

## **1.9 Efectos de los Parámetros de Secado Sobre la Calidad Funcional del Grano**

### ***1.9.1 Métodos de Secado Sobre la Actividad Antioxidante y Contenido de Polifenoles***

Las condiciones y métodos de secado son de vital importancia en la determinación de la actividad antioxidante (Değirmencioglu et al., 2016), ya que el largo tiempo de secado puede dar lugar a procesos oxidativos irreversibles que tienen un impacto negativo en los compuestos fenólicos presentes en el cacao (Alean et al., 2016). Además, en el proceso de secado existe una disminución significativa de compuestos bioactivos, como es los flavonoides, los cuales son compuestos antioxidantes clave presentes en el grano (Santhanam et al., 2017). Por otra parte, Herman et al., (2018) mencionan que durante este proceso coexisten dos fenómenos: la hidrólisis térmica que contribuye a un aumento del contenido de polifenoles y la oxidación que conduce a una disminución de este contenido.

### ***1.9.2 Variedad Sobre la Actividad Antioxidante y Contenido de Polifenoles***

Según Afoakwa et al., (2012) y Cortez et al. (2023) durante la transformación de granos de cacao frescos en chocolate, la concentración de compuestos bioactivos puede verse afectada por una variedad de condiciones biológicas y de procesamiento, que incluyen fermentación, secado y tostado. Además, Perea et al., (2009) mencionan que el tostado es el factor que más impacta debido al empleo de altas temperaturas; durante este proceso, la actividad antioxidante se reduce en aproximadamente un 24%.

## 1.10 Parámetros de Calidad del Cacao

### 1.10.1 Grano Seco

La Tabla 8 describe las características de un grano bien seco según AGROBIZ, (2020) es la siguiente:

**Tabla 8**

*Características de un grano bien seco.*

<b>Características del grano seco</b>	<b>Grano bien fermentado</b>	<b>Grano que le falta fermentado</b>	<b>Grano sin fermentar</b>
<b>Forma</b>	Hinchado	Algo aplanado o pacho	Pachito
<b>Color del grano por fuera</b>	Café oscuro	Amarillo claro, amarillo rojizo	Blanquecino, rojizo
<b>Cascarilla</b>	Se desprende fácilmente al tocarlo con los dedos	Es difícil de arrancar con las uñas	No se desprende está pegado al grano
<b>Consistencia del grano</b>	Fácil de quebrar y desbaratar con los dedos	Se desbarata con los dedos	Es duro como de hule, pero se puede partir con navaja
<b>El grano por dentro</b>	Este todo quebrado	Entero	Muy duro y solido
<b>Color del grano por dentro</b>	Color chocolate o café claro	Entre cenizo y morado	Negrusco
<b>Olor</b>	Chocolate aromático agradable	A vinagre desagradable	Sin olor, o con olor a moho
<b>Sabor o gusto</b>	Amargo agradable	Amargo	Muy amargo

Fuente: (AGROBIZ, 2020)

### 1.10.2 Pasta De Cacao

La pasta de cacao debe estar libre de cualquier tipo de materia vegetal proveniente de otras fuentes (como féculas, harinas, dextrinas), así como de grasas animales o vegetales y semillas no deseadas. Además, no se deben añadir ingredientes adicionales como cascarilla de cacao, sustancias inertes, colorantes, conservantes u otros productos que no sean parte de su

composición natural (NTE INEN 623, 1988). El licor de cacao debe cumplir con los requisitos especificados en la Tabla 9 de acuerdo con la NTE INEN 623.

**Tabla 9**

*Requisitos para pasta de cacao.*

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Grasa	%	48	54
Humedad	%	-	3
Almidón natural del cacao	%	8.5	9.0
Fibra cruda	%	-	4.7
Cenizas totales	%	-	7.5

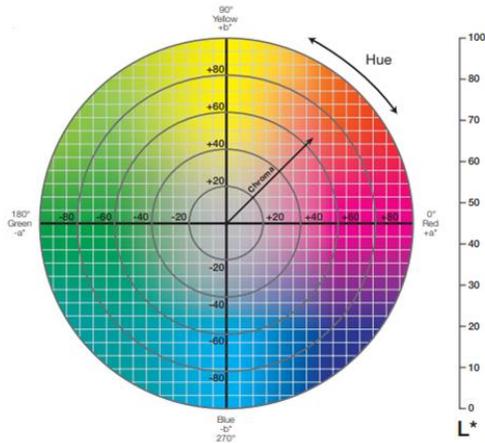
Fuente: (NTE INEN 623, 1988)

### **1.10.3 Color**

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) desarrolló un modelo cromático para representar todos los colores que puede percibir el ojo humano definió un espacio cromático mediante tres coordenadas: CIE XYZ, CIE L\*a\*b\* y CIE L\*C\*h°. Entre estos, el modelo CIE-L\*a\*b\* es el más recomendado para mediciones de color en entornos industriales (Rettig & Hen 2014). A continuación, la Figura 5 se representa la escala CIE Lab.

## Figura 5

*Representación Gráfica de los Parámetros de Color en la Escala CIE Lab.*



Fuente: (Rettig & Hen 2014)

El color del cotiledón es una característica genética comúnmente vinculada al tipo de cacao, y puede presentar una amplia gama de variaciones, desde blanco (criollo) hasta altamente pigmentado (forastero), con diversas tonalidades y patrones de coloración (G. Chire et al., 2016). Además, el secado juega un papel muy importante en el desarrollo del color marrón a partir de los compuestos fenólicos (Hashim et al., 1999; Vázquez et al., 2016). Según Afoakwa et al., (2013) y Sánchez, (2017), los cambios de color marrón claro a marrón oscuro se deben a la oxidación de compuestos fenólicos como las leucocianidinas y las epicatequinas, catalizada por la enzima polifenoloxidasas.

### 1.11 Psicrometría en el Secado

Se emplea un diagrama psicrométrico en el proceso de secado. Este diagrama es una representación gráfica que muestra las propiedades de humedad del aire. En él, se pueden observar curvas que ilustran la relación entre la temperatura y la humedad del vapor de agua en el aire, manteniendo la presión constante.

### 1.11.1 Propiedades de la Mezcla Aire-Vapor de Agua.

- **Temperatura de Bulbo Seco (TBS):** Es la temperatura del aire indicada por un termómetro común, dicha temperatura contrasta con la temperatura de bulbo húmedo donde el indicador se mantiene cubierto por una capa de agua (Singh & Heldman, 2014).
- **Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH):** Se logra cuando se expone el bulbo de un termómetro de mercurio cubierto con un paño húmedo a una corriente de aire no saturado que fluye a altas velocidades (aproximadamente 5 m/s). Cuando el paño se expone al aire sin saturar, parte del agua se evapora debido a que la presión de vapor del paño húmedo saturado es mayor que la del aire sin saturar (Singh & Heldman, 2014).
- **Punto de Rocío:** Es la temperatura en la que una muestra de aire húmedo, bajo las mismas condiciones de presión, llega al punto de saturación del vapor de agua. En este punto de saturación, el vapor de agua comenzaría a condensarse en agua líquida o (si estuviera por debajo del punto de congelación) en escarcha, al continuar quitando calor (Singh & Heldman, 2014).
- **Contenido de Humedad (W):** El contenido de humedad W o simplemente lo que se denomina humedad se define como la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco. Se representa por kg de agua/kg aire seco. Donde  $x_w$  es la fracción molar del vapor de agua y  $x_a$  es la fracción molar del aire seco (Singh & Heldman, 2014).

$$W = 0.622 \frac{x_w}{x_a}$$

(1)

Las fracciones molares  $x_w$  y  $x_a$  pueden expresarse en términos de presiones parciales a partir de las ecuaciones de los gases perfectos para el aire seco, vapor de agua y una

mezcla, respectivamente (Singh & Heldman, 2014). Teniendo en cuenta que  $p_a = p_B - p_w$

$$W = 0.622 \frac{p_w}{p_B - p_w} \quad (2)$$

- **Humedad Relativa ( $f$ ):** Es la relación existente entre la fracción molar del vapor de agua ( $X_w$ ) y la fracción de saturación en una muestra ( $X_{ws}$ ) a la misma temperatura y presión (Singh & Heldman, 2014).

$$f = \frac{X_w}{X_{ws}} * 100 \quad (3)$$

En determinadas condiciones en las que se cumple la ley de los gases ideales, la humedad relativa se expresa como la relación entre la densidad del vapor de agua en el aire ( $\rho_w$ ) (expresada en  $\text{kg/m}^3$ ) y la densidad del vapor de agua saturado ( $\rho_s$ ) a la temperatura de bulbo seco del aire ( $\text{kg/m}^3$ ) (Singh & Heldman, 2014).

$$f = \frac{\rho_w}{\rho_s} * 100 \quad (4)$$

- **Humedad Absoluta (HA):** Es el peso del vapor de agua por unidad de volumen, ésta generalmente es un espacio de un metro cúbico, donde normalmente hay aire también, para el cálculo de esta variable se emplea la ecuación 2.

$$y = \frac{W_{H_2O}}{W_{aire\ seco}} \quad (5)$$

Donde:

W: peso = [kg H<sub>2</sub>O]

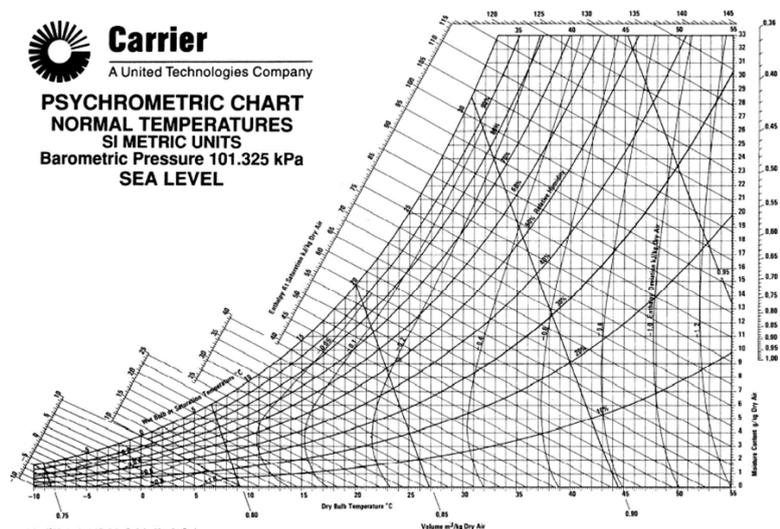
Y= humedad absoluta [kg ss]

### 1.11.2 Diagrama Psicrométrico

Los diagramas psicrométricos o denominados cartas psicrométricas (Figura 6) son diagramas integrados por varias familias de curvas que representan las propiedades del aire tales como temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, volumen específico del aire, temperatura de rocío, humedad absoluta y relativa y entalpía (Singh & Heldman, 2014).

**Figura 6**

*Diagrama psicrométrico de Carrier*



*Nota.* Diagrama psicrométrico de Carrier a temperaturas normales y presión barométrica 101.325 kPa (Nivel de mar). Fuente: (Singh & Heldman, 2014).

## 1.12 Cinética de Secado

### 1.12.1 Curvas De Secado

En el proceso de secado, se encuentra una representación gráfica que describe cómo cambia la humedad en el tiempo, denominada "curva de secado" (ver Figura 7). Esta curva ilustra el comportamiento general de la humedad durante el proceso de secado de alimentos.

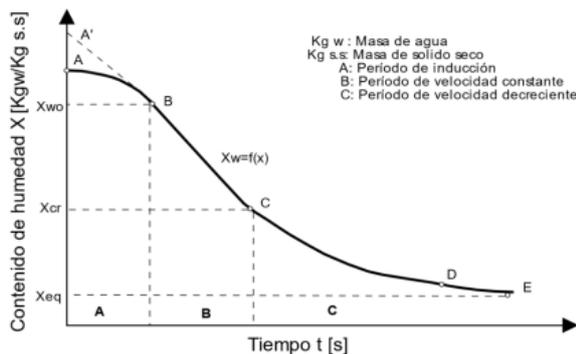
Donde:

- Tramo A-B: Etapa inicial, donde ocurre el cambio de humedad en el sólido.

- Tramo B-C: Fase de velocidad de secado constante, el proceso de secado se mantiene invariable hasta alcanzar el punto crítico  $X_{cr}$ .
- Punto C: Aquí, la línea recta comienza a curvarse y se acerca asintóticamente al contenido de humedad  $X_{eq}$ , que representa el valor mínimo de humedad en el proceso de secado, esto quiere decir que el punto E nunca es alcanzado, y  $X_{cr}$  es el punto de humedad crítica.

**Figura 7**

*Curva de Secado*

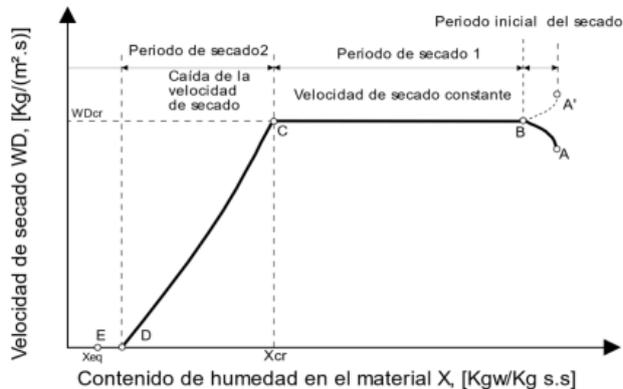


Fuente: (Poveda & Simbaña, 2018)

Se conoce como punto de humedad crítica de un sólido al punto en el que la velocidad de secado deja de ser constante y empieza a ser decreciente. Por otro lado, la humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ), se refiere al nivel de humedad alcanzado cuando un sólido húmedo entra en contacto con aire a ciertos valores constantes de temperatura y humedad (Ibarz & Barbosa-Canovas, 2014).

### 1.12.2 Curva De Velocidad De Secado

La velocidad de secado se refiere a la rapidez con la que disminuye el contenido de humedad de los sólidos (Parra, 2017).

**Figura 8***Curva de Velocidad de Secado*

Fuente: (Poveda & Simbaña, 2018)

Como es evidente en la Figura 8 se observa que la velocidad de secado no es la misma durante todo el proceso. La eliminación de humedad se realiza en una serie de etapas en las que la velocidad de secado es distinta (Parra, 2017).

En el proceso, A es el punto de partida. Durante la etapa AB, el sólido y su contenido de agua se calientan gradualmente, mientras que en el tramo BC el contenido de agua disminuye significativamente, manteniendo una velocidad de secado constante. Al llegar al valor de humedad crítica (punto C), se produce un cambio brusco, donde la extracción de humedad se vuelve lento y la velocidad de secado en la fase CD va decreciendo (Parra, 2017). Por otra parte, durante el secado de granos se da un proceso de transferencia de energía desde el ambiente y la transferencia de humedad desde la parte interna del sólido, es decir, se realizan procesos de transferencia de calor y masa (Poveda & Simbaña, 2018).

La mayoría de los cultivos exhiben las características de velocidad constante de secado en su contenido crítico de agua; por lo tanto, el cacao no es una excepción (Ekene et al., 2022). Sin embargo, MacManus et al., (2010); Otoikhian & Amune, (2022), establecieron que el cacao exhibe un comportamiento de velocidad constante durante el secado, a partir de un contenido de humedad de 70-100% base seca (b.s.). Por otro lado, la mayor parte del secado del cacao

sigue las características de velocidad decreciente, ya que el contenido de agua inicial apenas alcanza el valor crítico y la mayoría de los modelos de secado simulan esta característica.

### 1.13 Características Sensoriales del Cacao

La acidez, amargor y astringencia son las principales características sensoriales de la pasta de cacao, por ejemplo, el amargor y la astringencia de las almendras son cruciales porque estas características dependerán del sabor y aroma del chocolate fino. La intensidad e interacción de los componentes del sabor nutren las particularidades de los perfiles sensoriales de los distintos orígenes y variedades de cacao (Arvelo et al., 2017). Los procesos adecuados durante la fermentación, secado y tostado son importantes, ya que contribuyen a desarrollar las expresiones sensoriales que se buscan en el producto final para satisfacer las necesidades del consumidor (Solórzano et al., 2015). A continuación, se describe los atributos sensoriales del cacao de acuerdo con Equal Exchange Creative, (2018):

- **Acidez:** Esta característica organoléptica se refiere a la percepción de acidez que se experimenta al probar una sustancia pura o una mezcla. Al degustarla, se siente una sensación ácida que se detecta tanto en los laterales como en el centro de la lengua. El sabor ácido es uno de los sabores fundamentales y se origina a partir de una solución acuosa diluida de una sustancia ácida, como el ácido cítrico o tartárico.
- **Amargor:** Es una característica organoléptica presente en compuestos puros o mezclas que al ser degustados producen un sabor amargo, resultado de la ausencia de fermentación, y que se percibe en la parte posterior del paladar. Por ejemplo, la medula y piel de cítricos como limón, lima, toronja.
- **Astringencia:** Se da por la alta concentración de sustancias como polifenoles y falta de fermentación, que provoca sequedad en la boca y aumento de salivación. Como

referencia son las frutas no maduras, cáscaras de frutas, médula de nueces, semillas de frutas.

- **Sabor:** Es la percepción que genera un alimento u otra sustancia y se debe principalmente a las sensaciones químicas captadas por el gusto (lengua) así como por el olfato (olor). A continuación, se presenta las referencias del sabor:

Cacao, describe el sabor típico de los granos de cacao bien fermentados, tostados y sin defectos.

Caramelo, se refiere a una sensación similar al azúcar y otros compuestos, incluyendo edulcorantes sintéticos.

Nuez, sabor similar a las nueces, característico de los cacaos variedad Criollos y Trinitarios.

Floral, aquellos licores con aroma floral, casi llenos de fragancia, como las rosas, jazmín, flor de café.

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Caracterización del Área de Estudio

El desarrollo experimental se realizó en dos fases: Campo y Laboratorio.

##### 2.1.1 Fase de Campo

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Acopio y Acondicionamiento de Frutas de la Asociación Integral para el Desarrollo de Productores Lita “APL”, ubicado en la provincia de Imbabura, parroquia rural de Lita a 100 km de la ciudad de Ibarra. En la Tabla 10 se presentan las mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa de los días en los cuales se llevó a cabo el proceso de secado de las muestras de cacao, donde permitió determinar la carta psicrométrica (Figura 9) las condiciones de aire a temperatura promedio (Tabla 11).

**Tabla 10**

*Datos de las condiciones ambientales del aire por día.*

Día	Temperatura de bulbo seco (Aire Ambiente) (°C)	Temperatura de bulbo seco (Aire caliente) (°C)	Humedad Relativa (%)
1	30	38.4	34
2	31	37.7	43
3	23	28.2	65
4	26	32.8	50
5	25	31.6	59
6	34	35.5	41
7	28	31.9	49
8	29	42.1	24
9	29	36.9	38
10	30	43	27

$\bar{X}$	29	35.8	43
-----------	----	------	----

**Tabla 11**

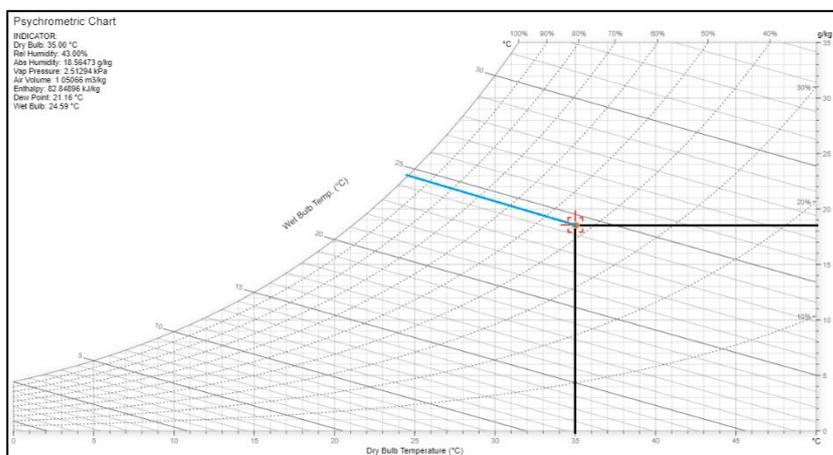
*Condiciones climatológicas de la Parroquia de Lita.*

Condiciones Climatológicas	Lita- Centro de Acopio APL
Altitud:	571 m.s.n.m
Longitud:	72°30" Oeste
Latitud:	7° 30" Norte
Precipitación anual promedio:	3.355,20 mm
Temperatura de bulbo seco	36 °C
Temperatura de bulbo húmedo	24.59 °C
Punto de rocío	21.16 °C
Humedad relativa	43 %
Humedad absoluta	0.018 kg/kg
Entalpía	82.85 kJ/kg
Volumen específico	1.05 m <sup>3</sup> /kg
Presión	86.70 kPa

Obtenido de: INAMHI, (2020)

**Figura 9**

*Propiedades Psicrométricas del Aire a la Presión Barométrica de la Parroquia de Lita*



### 2.1.2 Fase de Laboratorio

El desarrollo experimental de la investigación se ejecutó en las instalaciones de las Unidades Edu-productivas de la Universidad Técnica del Norte, localizadas en la Parroquia El Sagrario, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura y en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad, ubicado el sector de Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha. En la Tabla 12 se registran las condiciones climatológicas de los lugares de experimentación.

**Tabla 12**

*Condiciones climatológicas de las áreas de estudio.*

<b>Condiciones climatológicas</b>	<b>U. Edu-productivas</b>	<b>INIAP</b>
Temperatura:	17.7 °C	18 °C
Altitud:	2250 m.s.n.m.	3050 m.s.n.m.
HR promedio:	73 %	76 %
Latitud:	00°19'47" Sur	00° 22' 00" Sur
Longitud:	78°07'56" Oeste	78° 33' 00" Oeste
Precipitación Anual Promedio:	541.6 mm	1127.5 mm

Obtenido de: INAMHI, (2020)

## 2.2 Materiales y Equipos

Para el desarrollo del estudio se utilizó los siguientes materiales y equipos, que se describen en la Tabla 13 y 14.

### 2.2.1 Especificaciones de los Equipos de Secado

La secadora rotatoria de marca INDUMEI (Figura 11), tiene una capacidad de secado de 2 quintales/ciclo. Para su funcionamiento, utiliza gas licuado de petróleo como

combustible, consumiendo aproximadamente entre 20-25 kg/hora. Sus dimensiones de base son 200x100 cm. La base está compuesta por una plancha perforada inoxidable, envolvente y paletas en acero inoxidable con pintura electrostática. El motor de la secadora tiene una potencia de 3HP y funciona con corriente monofásica de 220V. Por otro lado, el ventilador cuenta con una potencia de 3HP y funciona con corriente trifásica.

El sistema de encendido eléctrico utiliza una bobina de ignición para asegurar un encendido seguro y confiable. El tablero está compuesto por un sistema de arranque para el ventilador, luces piloto de encendido, un selector On-Off y un pulsador de suspensión de emergencia. Para la descarga del producto, la secadora está equipada con una compuerta de salida, que se apoya en las paletas de movimiento, asegurando una descarga eficiente y precisa.

**Tabla 13**

*Materiales y Equipos empleados en fase de campo.*

<b>Materia Prima</b>	<b>Materiales de campo</b>	<b>Equipos</b>
- Cacao CCN-51	- Marquesina de secado	- Secadora Rotatoria de Lecho Fluidizado
- Cacao Nacional	- Mesas de madera	- Báscula electrónica
	- Pallets estándar	- Clasificadora de cacao
	- Sacos de polietileno	- Tostadora de laboratorio
	- Pala de madera	- Descascarilladora de cacao
	- Gavetas plásticas	- Molino de discos
	- Coche transportador	- Termómetro
	- Utensilios	- Termohigrómetro HTC-2
	- Gas	- Medidor de Humedad HE 50
	- Bandejas plásticas	- Colorímetro
	- Papel aluminio	- Termómetro infrarrojo
	- Fundas de papel kraft	

- 
- Medidor de actividad de agua WA-60A
- 

**Tabla 14**

*Materiales y Equipos empleados en fase de laboratorio.*

<b>Materiales de Laboratorio</b>	<b>Equipos de Laboratorio</b>	<b>Reactivos</b>
- Tamiz 355µm	- Molino Retsch ZM-200	- Metanol grado reactivo al 99.5%
- ph metro	- Extractor de grasa Soxhlet	- Ácido Gálico Monohidratado
- Matraz	- Estufa	- Reactivo de Folin & Ciocalteu
- Balón aforado	- Balanza analítica	- Carbonato de Sodio 99.5%
- Embudos de vidrio	- Plancha magnética	- Agua destilada
- Tubos de ensayo	- Agitadores magnéticos	- Agua bidestilada
- Vasos de precipitación	- Espectrofotómetro UV-VIS Shimadzu	- Trolox
- Papel filtro Whatman N°4	- Refrigerador	- ABTS
- Pipetas volumétricas	- Equipo de calentamiento	- Persulfato de Potasio $K_2S_2O_8$
- Micropipetas		- Fosfato de sodio monobásico $NaH_2PO_4$ grado reactivo
- Puntas para micropipetas		- Fosfato de sodio dibásico $Na_2H_2PO_4$ -
- Celdas		$H_2O$ grado reactivo
- Papel aluminio		
- Frascos ámbar		
- Probetas		
- Viales de vidrio		
- Dedales de extracción		
- Algodón		

### 2.3 Descripción de la Metodología

La metodológica a emplear en este estudio es cuantitativa debido a la estructura experimental y a la visión objetiva del problema. Se considera esta metodología, ya que implica validar los resultados a partir de diferentes técnicas, como el método estadístico. Además, la investigación abordó un estudio cualitativo acerca de las características sensoriales de la pasta de cacao.

Se planteó una hipótesis con el fin de medir el impacto del estudio propuesto, de la misma manera se controló los factores de estudio, precisando y analizando al problema desde su fundamento y su aplicación. A continuación, se describe la metodología planteada:

### ***2.3.1 Cuantificación de los Principales Compuestos Fenólicos Responsables de la Actividad Antioxidante en el Cacao***

La materia prima que se empleó en el desarrollo del presente estudio fue cacao de las variedades CCN-51 y Fino de Aroma o Nacional, procedentes de la parroquia de Lita. Posteriormente, una vez recibidas las mazorcas de cacao se procedió a realizar una selección, considerando el estado de madurez fisiológica basada en el color (mazorca de color amarillo en la variedad Nacional y mazorca de color rojo en la variedad CCN-51), y la ausencia de plagas, moho, o enfermedades que afectarían en los procesos posteriores.

Las semillas de cacao tras haber sido extraídas de las mazorcas fueron fermentadas, luego se procedió a sacar los granos fermentados y trasladarlos en gavetas limpias hacia el área de secado. Este proceso se llevó a cabo tanto en marquesina como en secadora rotatoria de lecho fluidizado.

A continuación, se cuantificó los principales compuestos fenólicos responsables de la actividad antioxidante en los granos de cacao secos mediante el Método de Folin-Ciocalteu, los resultados se expresaron en mg Ac. Gálico/g. muestra. La descripción del método de análisis se detalla en el Anexo 8.

### ***2.3.2 Evaluación del Efecto de los Métodos de Secado en las Variedades de Cacao Sobre la Actividad Antioxidante en la Pasta***

Una vez obtenido el cacao fermentado se procedió a ejecutar las diferentes operaciones unitarias de secado y tostado para obtener pasta, de la cual se efectuó el análisis de la capacidad antioxidante.

Los métodos de secado que se aplicaron para la ejecución del estudio son mediante marquesina y secadora rotatoria de lecho fluidizado que se encuentra disponibles en APL. El método por marquesina se realizó a condiciones ambientales de dicha parroquia (Temperatura promedio 21 °C) durante 5 a 7 días con remociones de los granos cada 3 horas mediante el uso de una pala de madera, hasta que el grano alcance una humedad del 7% el mismo que se determinó mediante el uso del Medidor de Humedad HE 50 con lectura digital, este dispositivo se encuentra disponible en la Asociación.

De acuerdo con Parra, (2017) en la literatura no hay un acuerdo definitivo sobre la duración del proceso de secado del cacao, debido a que este proceso es empírico y altamente influenciado por las condiciones climáticas del entorno, el tiempo exacto de exposición de los granos no puede establecerse de manera precisa.

Por otra parte, la secadora rotatoria de lecho fluidizado de la Asociación funciona con aire caliente (40-70 °C), usa como combustible gas y convierte la energía eléctrica a energía mecánica para la remoción de paletas de acero inoxidable (7 rpm) y ventilador centrífugo. Según Orna et al., (2018) con una temperatura entre 43 a 44 °C entre 4 a 5 horas con una velocidad del aire de 1.5 m/s, se obtiene un grano seco con un porcentaje de humedad de 9%.

Dicha secadora está compuesta por un ventilador que introduce aire caliente a través de un conducto ubicado en la base del contenedor, este aire caliente se desplaza

verticalmente a través de una bandeja perforada que contiene toda la capacidad de cacao. En la parte superior se dispone de un mecanismo rotatorio con varios rastrillos que se encargan de remover los granos de cacao mientras el aire caliente asciende y los seca gradualmente; gracias al sistema de remoción automática que evita la interacción del trabajo humano, este secador produce una muy buena calidad final de secado.

Es importante tener en cuenta que la NTE INEN 176, (2018), establece un valor máximo del 7% para la humedad. Los valores inferiores pueden provocar que los granos se vuelvan frágiles y quebradizos, lo que afecta su calidad. Por otro lado, si el secado no se completa y el valor de humedad supera el 8%, se crean condiciones para el desarrollo de mohos y se genera acidez en los granos, lo que afecta la formación del aroma y sabor (Arvelo et al., 2017).

Basándonos en lo mencionado anteriormente, la evaluación de la capacidad antioxidante del cacao se llevó a cabo mediante el siguiente diseño experimental:

- **Diseño:** Factorial  $2^k$
- **Tratamientos:** 4
- **Repeticiones:** 3
- **Unidades experimentales:** 12

#### **2.3.2.1 Diseño Experimental.**

Para el análisis estadístico se utilizó el Diseño Factorial  $2^k$  ( $k=2$ ), en el cual cada uno de los factores cuenta con dos niveles cualitativos. Este diseño resulta conveniente porque permite el análisis de los efectos e interacciones entre dos factores: método de secado y variedad de cacao.

### 2.3.2.2 Factores de Estudio.

Se presentaron dos factores a evaluar, estos son: métodos de secado (A) y variedad (B), como se indica en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Factores de Estudio.*

<b>Factor A: Métodos de secado</b>	<b>Factor B: Variedad de cacao</b>
<b>A1:</b> Marquesina	<b>B1:</b> Nacional
<b>A2:</b> Secadora Rotatoria de Lecho Fluidizado	<b>B2:</b> CCN-51

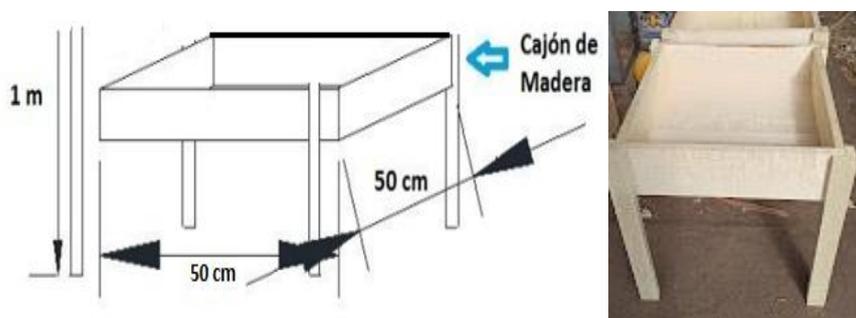
### 2.3.2.3 Unidad Experimental.

Lotes de 10 kg por cada tratamiento con 12 unidades experimentales, que hacen un total de 120 kg de cacao fermentado en baba de las dos variedades.

Dentro de la marquesina se colocaron mesas de madera (Figura 10) con dimensión de 50 cm de largo x 50 cm de ancho, con un espesor de 20 cm, la capacidad de soporte de esta estructura es de 10 kg para secar el cacao y es sostenida por 4 parantes (50 cm de largo).

**Figura 10**

*Estructura de la mesa de madera con parantes.*



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la secadora artificial que se encuentra disponible en APL tiene una capacidad de 10 qq (Figura 11), de tal modo que la parte superior se tapó con un costal para que exista una buena fluidización de la unidad experimental.

### Figura 11

*Secadora Rotatoria de Lecho Fluidizado.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 2.3.2.4 Combinaciones entre Factores.

A partir de los factores en estudio mencionados en la Tabla 15, se obtienen los tratamientos que se presentan a continuación en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Nomenclatura de los tratamientos.*

Tratamientos	Factor A		Factor B	Interacción
	Métodos de secado	Variedad de cacao		
T1	A1	B1	A1B1	
T2	A1	B2	A1B2	
T3	A2	B1	A2B1	
T4	A2	B2	A2B2	

#### 2.3.2.5 Análisis de Varianza.

En la Tabla 17 se muestra el análisis de varianza (ADEVA) de los tratamientos, factores e interacciones de la presente investigación.

**Tabla 17***Modelo de ADEVA.*

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>GL</b>
Total	11
Tratamientos	3
Factor A: Métodos de Secado	1
Factor B: Variedad de Cacao	1
Interacción AxB	1
Error	8

**2.3.2.6 Análisis Estadístico.**

Para comprobar la normalidad y homogeneidad de los datos, se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilks y la Prueba F para igualdad de varianzas, respectivamente. Se empleó el análisis ADEVA para los datos paramétricos y el método de Kruskal-Wallis para los datos no paramétricos. Además, como se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y factores, se aplicaron las pruebas de Tukey 5% y DMS para los factores. Las variables no paramétricas (aroma, acidez, amargor, astringencia y aceptabilidad) se evaluó mediante la prueba no paramétrica de Friedman al 5%; usando el software estadístico InfoStat y Excel para comparar los resultados y crear gráficos.

**2.3.2.7 Variables por Evaluarse.**

En la Tabla 18 se indica la variable cuantitativa (ABTS) que ayudó a determinar la actividad antioxidante que contiene la pasta de cacao para captar los radicales libres generados; así también la cinética de secado, humedad, actividad de agua y color.

**Tabla 18**

*Variables evaluadas en el producto final.*

<b>Variables</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de Análisis</b>
Actividad antioxidante	µm Trolox/g	ABTS (Re et al., 1998)
Cinética de secado		Curvas de secado
Humedad	%	INIAP MO-LSAIA-01.01
Actividad de agua	aw	Aw meter
Color	L*a*b*	Escala de color mediante colorímetro

*Nota.* Descripción del método del análisis en Anexo 9,10,11 y 15

### **2.3.3 Determinación de los Atributos Sensoriales de Preferencia en la Pasta de Cacao**

Para esta investigación, la metodología que se empleó fue lo que se conoce como test hedónico, el cual consistió en trabajar con panelistas no entrenados que respondieron si les agradaba o no el producto. Es decir, fue una prueba básica de aceptación. Según Barda, (2006), afirma que 30-100 es un rango de panelistas que se acerca a la media poblacional, de tal modo para la investigación se utilizó 35 panelistas.

- **Pasos para la evaluación sensorial de pasta de cacao**

La calidad sensorial del cacao se evaluó transformando las almendras tostadas en una pasta diluida, este ejercicio además permite detectar la presencia de sabores indeseables que afectan la calidad final del producto. Esta prueba hedónica se realizó en la Universidad Técnica del Norte, las muestras se presentaron en porciones de 10 g en vasos plásticos de 20 ml debidamente codificados y acompañados de una cuchara pequeña para tomar una muestra de pasta, que debe ser vertida uniformemente sobre la lengua. Durante la evaluación el aroma y los sabores (acidez, amargor y astringencia) se cuantificaron mediante una escala hedónica de 5 puntos, donde 0 corresponde a la calificación de “ausencia total” y 5 “muy intensa”.

Los panelistas mantuvieron la muestra en la boca de 15-20 segundos y en ese tiempo se saborea, inhalando y exhalando aire por la vía retronasal para facilitar la degustación de sabor, seguido de esto entre cada muestra realizaron una pausa de un minuto para comer una galleta que quite el sabor de la muestra anterior, luego cada panelista se enjuagó la boca con agua y quedó listo para la siguiente muestra. El formulario para registrar los resultados de la evaluación se muestra en el Anexo 16.

- **Instalaciones o ambiente de trabajo**

Se usaron cabinas (en este caso hechas de cartón) las cuales ayudaron a que los panelistas estén separados uno de otro, esto permitió que más de un individuo pueda evaluar el producto a la vez.

- **Consideraciones para el diseño experimental**

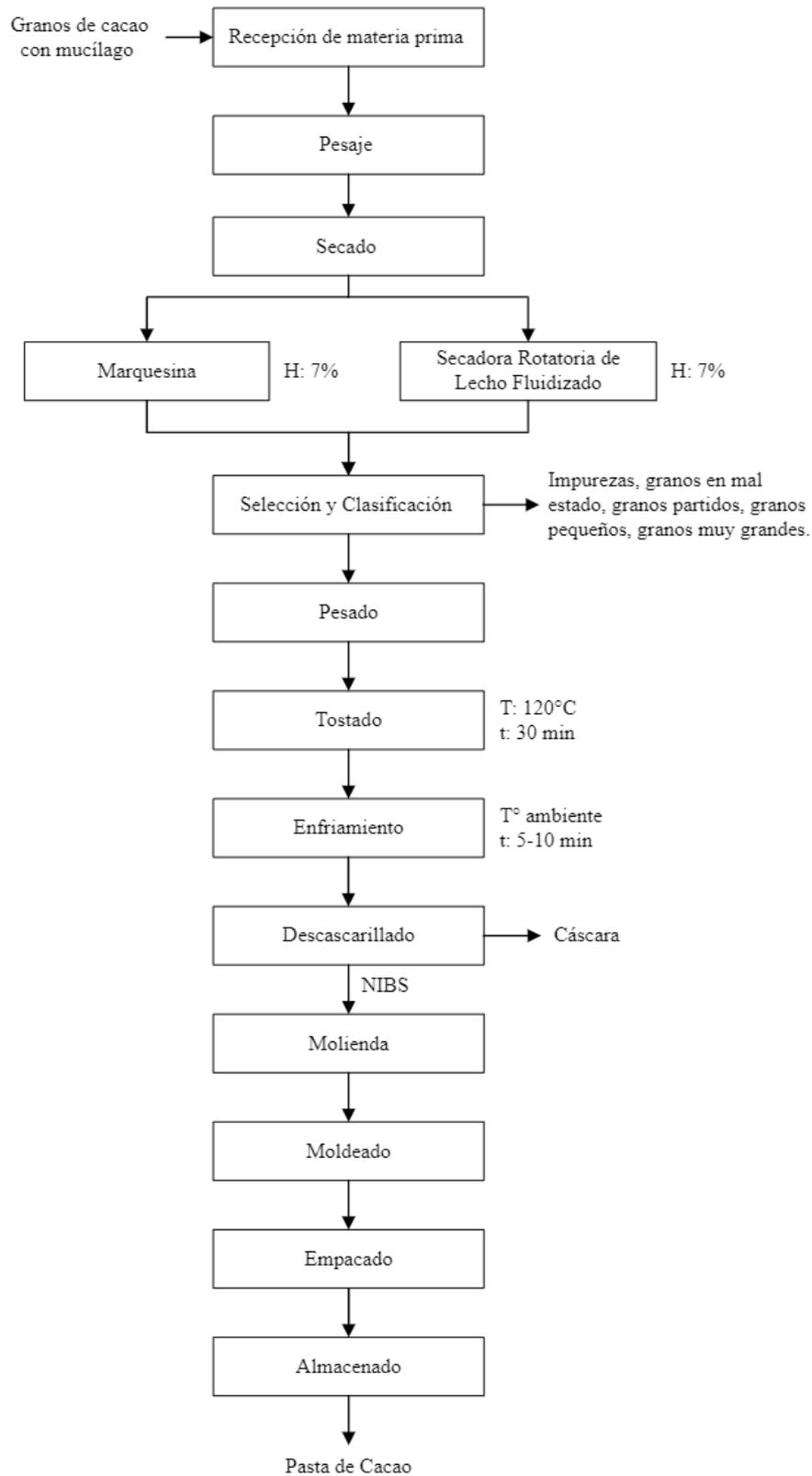
Con el propósito de prevenir posibles errores en la evaluación, se procedió a asignar de manera aleatoria el orden de presentación de los tratamientos. Asimismo, se implementó un código de 3 dígitos, asignado de forma aleatoria, para identificar cada tratamiento.

## **2.4 Manejo Específico del Experimento**

El proceso para la obtención de pasta de cacao se describe en el siguiente diagrama, Figura 12.

**Figura 12**

*Diagrama de Proceso de Obtención de Pasta de Cacao.*



### 2.4.1 Descripción del Proceso

A continuación, se describe cada una de las operaciones llevadas a cabo en el proceso de obtención de pasta de cacao.

#### 2.4.1.1 Recepción y Pesado de Materia Prima.

El cacao proveniente de la Parroquia de Lita - Provincia de Imbabura, se recibió en gavetas plásticas; seguidamente los granos previamente fermentados se pesaron con el propósito de determinar la cantidad de materia prima utilizada para iniciar el proceso.

### Figura 13

*Recepción y Pesado de Materia Prima.*



#### 2.4.1.2 Secado.

##### Marquesina

Los granos de cacao fueron colocados en los tendales de madera con una capa de 5 centímetros de altura bajo la marquesina. De acuerdo con AGROBIZ, (2020) en las primeras 24 horas de secado se realizó remociones cada 30 minutos (cerca de 16 remociones/día) con la ayuda de una pala de madera. En el segundo día de secado se efectuó las remociones cada 60 minutos durante el día (8 remociones/día). Luego de las

remociones siempre hay que dejar la misma altura de capa y rebordear. A partir del tercer día en adelante se hizo remociones cada 2 horas.

El proceso de disminución de humedad fue comprobado mediante el medidor de humedad de marca HE 50, dicho dato fue medido diariamente. El tiempo empleado hasta que el grano redujo su humedad al 7% (NTE INEN 176) fue de 8 días, dentro de este lapso el cacao cambio su coloración de marrón claro a marrón oscuro, e internamente se evidenció la forma arriñonada del grano.

#### **Figura 14**

*Secado en Marquesina*



#### **Secadora Rotatoria de Lecho Fluidizado**

Antes de poner los granos de cacao en la secadora rotatoria, el cacao fermentado se sometió un día ha secado al sol con remociones cada 25 minutos, como recomienda Pérez & Contreras, (2017). Al día siguiente los granos de cacao previamente pesados se colocaron en la secadora, la cual dispone de un mecanismo rotatorio que cuenta con varios rastrillos que se encargan de remover los granos mientras el aire caliente ascendente los va secando. Además, la temperatura fue controlada mediante un termómetro digital para

asegurar que esta se mantuviera en el rango de 45 °C - 50 °C, temperatura ideal para secar el cacao.

El proceso de disminución de humedad fue comprobado mediante el medidor de humedad de marca HE 50, dicho dato fue tomado cada hora. Finalmente, el grano redujo su humedad al 7% (NTE INEN 176) en un lapso de 12 horas.

### Figura 15

*Secado en Secadora Rotatoria.*



### Figura 16

*Medidor de Humedad.*



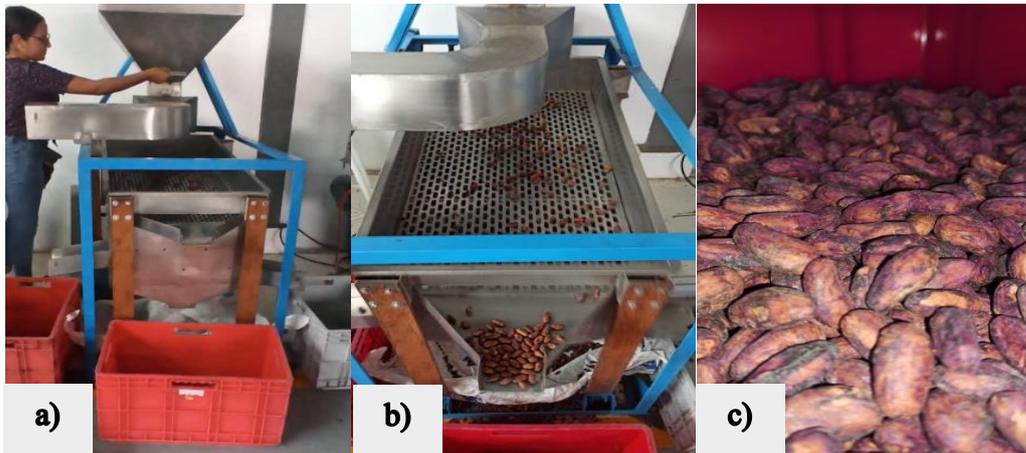
#### 2.4.1.3 Selección y Clasificación.

Las semillas de cacao fermentadas y secas se introdujeron en la clasificadora de cacao, donde fueron separadas según su tamaño utilizando cribas de clasificación. Se

realizaron tres niveles de clasificación: nivel 1 (1.8x3 cm), nivel 2 (1.5x3 cm) y nivel 3 (0.7x3 cm).

### Figura 17

#### *Proceso de Selección y Clasificación*



*Nota.* a) Selección y Clasificación de Granos de Cacao. b) Cribas de Clasificación. c) Selección de Granos Nivel 2.

#### 2.4.1.4 Pesado.

Los granos clasificados fueron pesados para determinar el tamaño promedio para el experimento. La criba que obtuvo mayor contenido de cacao fue la segunda (nivel 2: 1.5x 3 cm), siendo esta clasificación seleccionada para el proceso de tostado.

### Figura 18

#### *Pesado de Granos de Cacao*



#### 2.4.1.5 Tostado.

El proceso de tostado de los granos de cacao de las dos variedades se realizó en el tostador de laboratorio de las Unidades Edu-productivas de la Universidad Técnica del Norte, se procedió a tostar en cantidades de 1200 g de acuerdo con las condiciones de temperatura y tiempo (120 °C – 30 min) propuesto por Kothe et al., (2013). Posterior al tostado, el grano de cacao se enfrió a temperatura ambiente.

**Figura 19**

*Proceso de Tostado de Cacao*



*Nota.* a) Pesado de Materia Prima. b) Alimentación del Tostador. c) Ajuste de parámetros. d) Descarga de granos tostados.

#### 2.4.1.6 Descascarillado.

Los granos de cacao fueron separando de la testa por acción de la descascarilladora obteniendo nibs o trozos de cacao.

#### Figura 20

##### *Proceso de Descascarillado*



Nota. a) Alimentación. b) Nibs. c) Cascarella

#### 2.4.1.7 Molienda.

Los nibs fueron introducidos en el molino de discos, donde se trituraron hasta convertirse en una pasta líquida conocida como licor o pasta de cacao. Durante este proceso, se libera la manteca y se funde debido al aumento de temperatura provocado por la fricción generada entre los discos del molino.

**Figura 21***Molienda del Cacao***2.4.1.8 Moldeado y Empacado.**

La pasta de cacao fue moldeada sobre moldes de policarbonato, realizando golpes continuos para evitar el proceso de formación de burbujas de aire en el interior de la pasta. Luego se dejó en reposo para el desmoldeado y se empacó en fundas de polietileno debidamente etiquetadas según el tratamiento correspondiente.

**Figura 22***Moldeado y Empacado de Pasta de Cacao***2.4.1.9 Almacenado.**

Finalmente, las muestras fueron almacenadas en refrigeración hasta su posterior análisis.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

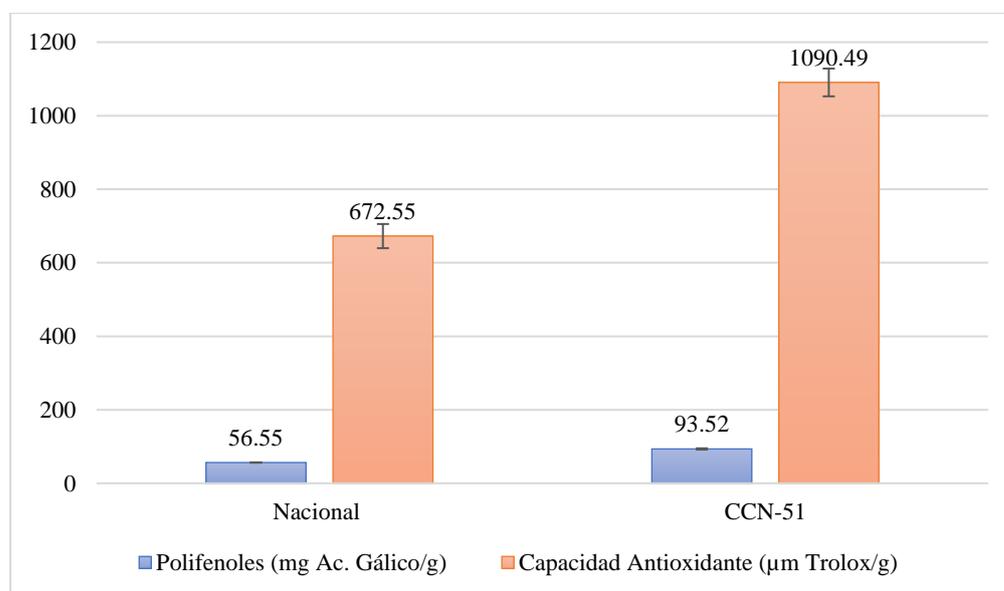
En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos de la investigación, que tiene como objetivo principal determinar cómo los factores de estudio afectan a los componentes de interés, tanto en el grano como en la pasta de cacao.

#### 3.1 Caracterización Funcional del Grano de Cacao

Las muestras de cacao variedad Nacional y CCN-51 provenientes de la parroquia Lita fueron previamente fermentadas para su posterior caracterización funcional, donde se determinó el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante (Figura 23). El análisis permitió establecer el contenido funcional inicial de la materia prima de esta investigación.

**Figura 23**

*Compuestos fenólicos y actividad antioxidante del grano de cacao.*



### **3.1.1 Contenido de Polifenoles Totales**

Los resultados del estudio (Figura 23) revelaron una variabilidad en el contenido de polifenoles según la variedad de cacao. Se registra que el cacao CCN-51 presentó niveles más elevados de polifenoles en comparación con la variedad de cacao Nacional. Asimismo, en estudios similares (Tabla 4) se determinó diferencias significativas en compuestos fenólicos, debido a la ubicación geográfica, altitud y temperatura de las zonas productoras. De acuerdo con investigaciones previas de Melo et al., (2021b), Oracz et al., (2020) y Samaniego et al., (2020) el contenido de polifenoles en los granos de cacao depende de diversos factores, tanto intrínsecos, como el genotipo, como extrínsecos, como el origen, clima, época de cosecha y los procesos postcosecha (fermentación y secado).

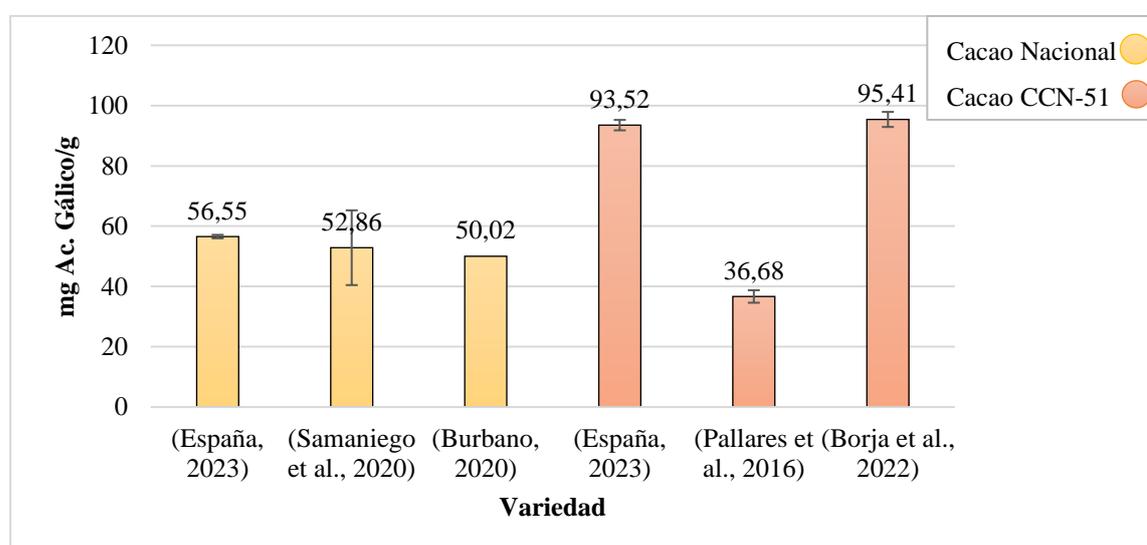
Además, la Tabla 4 muestra una alta variabilidad en el contenido total de polifenoles del cacao según la zona de cultivo. Se observa que los granos provenientes de la Región Costa presentan una menor cantidad de compuestos fenólicos en comparación con los de la Sierra y Amazonía. Esto indica que, a mayor altitud sobre el nivel del mar, los granos de cacao presentan un mayor contenido de compuestos fenólicos. Carrillo et al., (2014); Tello et al., (2020), mencionan que existe una relación proporcional entre el contenido de polifenoles y los cambios en la altitud de los cultivos de plantas, en este caso a mayor altura sobre el nivel del mar mayor es el contenido de fenoles totales en la planta de cacao. Estos hallazgos respaldan investigaciones previas realizadas por varios autores D'Souza et al., (2017); Pedan et al., (2018), quienes han demostrado de manera consistente que el área de producción tiene un efecto significativo en el contenido de compuestos fenólicos.

Los resultados obtenidos en la investigación (Figura 23) se encuentran dentro de los rangos reportados por Alean et al., (2023), quienes indican que el contenido de

compuestos fenólicos en los cacaos fermentados, secos y sin grasa generalmente varía entre 5% y 10% (50 mg/g a 100 mg/g b.s.). Por otra parte, Borja et al., (2022), dan a conocer que la genética Criolla presenta una cantidad de estos compuestos entre 30%-60% menor en comparación con las variedades Trinitario y Forastero. Estos resultados permiten explicar las variaciones encontradas entre los genotipos objeto de estudio.

**Figura 24**

*Compuestos Fenólicos del Grano de Cacao.*



### 3.1.2 Capacidad Antioxidante

En la Figura 23, se registra que la variedad CCN-51 posee mayor actividad antioxidante con relación a la variedad de cacao Nacional. Asimismo, en estudios similares (Tabla 25) se determinó diferencias significativas en la actividad antioxidante, debido a la ubicación geográfica, altitud y temperatura de las zonas productoras. Según Muñoz, (2018), la zona de producción tiene efecto sobre la capacidad antioxidante del cacao. Por otro lado, Tello et al., (2020) mencionan que la diferencia en la capacidad antioxidante registrada en clones se debe a la variedad, pero también a factores como intensidad de luz, contenido de humedad, temperatura, pH y el estrés producido en el

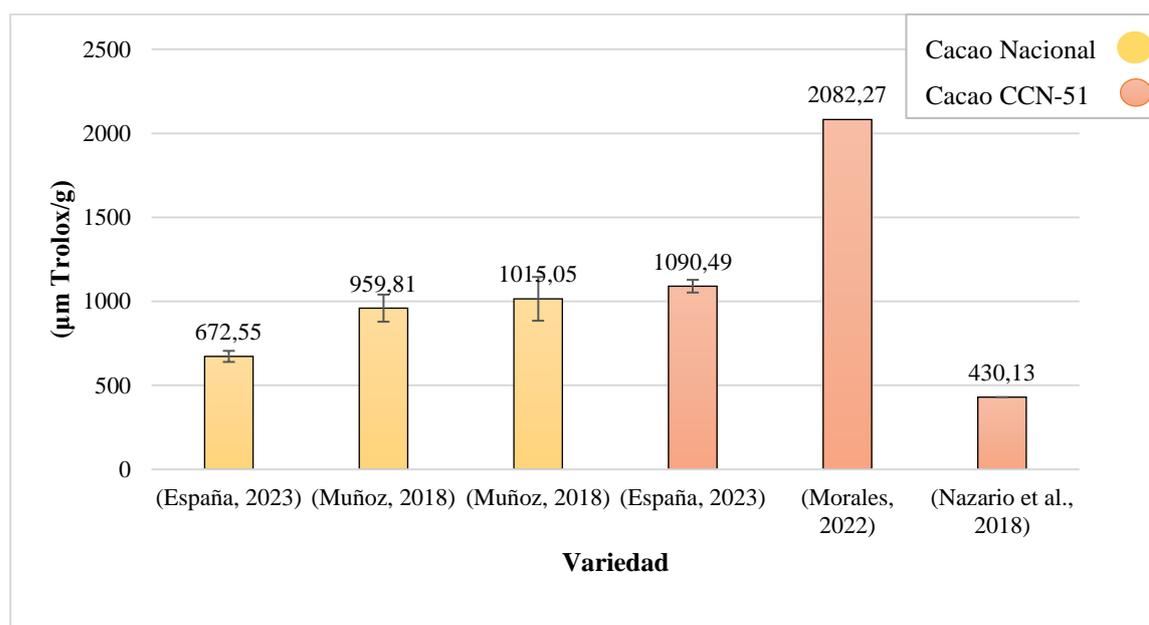
suelo. Estas investigaciones permiten explicar los factores de influencia sobre el contenido de antioxidantes en el grano de cacao objeto de estudio.

La variabilidad de los resultados de actividad antioxidante puede atribuirse a diversos factores anteriormente citados. Según Pallares et al., (2016) las propiedades antioxidantes del cacao son influenciadas por diversos factores como: el genotipo, la región geográfica, las condiciones agroclimáticas, el proceso de beneficio (fermentación y secado), el proceso de industrialización, entre otros. En este particular caso, basado en lo anterior y en los resultados, la variedad del cacao presenta una influencia significativa.

En comparación con otras investigaciones, Avendaño et al., (2021) dan a conocer que la genética Forastero presenta mayor actividad antioxidante que las variedades de Trinitarios y Criollos (85.2, 73.55 y 56.63  $\mu\text{m Trolox/g}$ , respectivamente). Sin embargo, la capacidad antioxidante de las variedades evaluadas en esta investigación, presentan una capacidad de hasta 1000% más que las indicadas anteriormente.

## Figura 25

### *Capacidad Antioxidante del Grano de Cacao*



### 3.1.3 Colorimetría

La Tabla 19 indica los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad ( $C^*$ ) y matiz ( $H^*$ ), tanto en el grano fermentado como en grano seco de cada uno de los tratamientos.

**Tabla 19**

*Valores de los componentes del color*

	Grano húmedo fermentado			Grano Seco		
	Nacional	CCN-51	T1	T2	T3	T4
$L^*$	32.83±0.29 <sup>a</sup>	34.65±2.44 <sup>a</sup>	32.10±0.11 <sup>a</sup>	32.85±0.15 <sup>a</sup>	32.74±0.13 <sup>a</sup>	32.86±0.72 <sup>a</sup>
$a^*$	0.54±0.05 <sup>a</sup>	0.77±0.15 <sup>a</sup>	2.53±0.42 <sup>b</sup>	2.71±0.04 <sup>b</sup>	2.68±0.05 <sup>b</sup>	2.29±1.48 <sup>b</sup>
$b^*$	11.97±0.13 <sup>a</sup>	12.63±1.35 <sup>a</sup>	11.82±0.56 <sup>a</sup>	11.59±0.18 <sup>a</sup>	11.47±0.14 <sup>a</sup>	12.23±0.19 <sup>a</sup>
H	87.40±0.25 <sup>b</sup>	86.46±0.98 <sup>b</sup>	77.97±1.62 <sup>a</sup>	76.82±0.38 <sup>a</sup>	76.84±0.08 <sup>a</sup>	79.43±6.82 <sup>a</sup>
C	11.98±0.13 <sup>a</sup>	12.66±1.34 <sup>a</sup>	12.09±0.62 <sup>a</sup>	11.90±0.16 <sup>a</sup>	11.78±0.15 <sup>a</sup>	12.50±0.12 <sup>a</sup>

*Nota.* Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según la Prueba de Tukey ( $p \geq 0.05$ ).

Con base en los resultados obtenidos (Tabla 19), la luminosidad  $L^*$  no presenta diferencias significativas. Los valores promedio de luminosidad fueron de 32.56 y 33.45 para las variedades Nacional y CCN-51, respectivamente, lo cual indica un color marrón oscuro, de acuerdo con lo que se observa en la Figura 26. Al secar los granos fermentados, se observó un aumento en el componente  $a^*$  (de 0.54 a 2.60 en variedad Nacional y 0.77 a 2.50 en la variedad CCN-51), lo cual está asociado con tonalidades rojizas. Esta variación fue estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Estos hallazgos concuerdan con investigaciones previas realizadas por Nogales et al., (2006), quienes evidenciaron un aumento en el componente  $a^*$  de 6.30 a 7.71, así como por G. Chire et al., (2016), quienes observaron incrementos de 8.90 a 15.94 y 12.14 a 13.44.

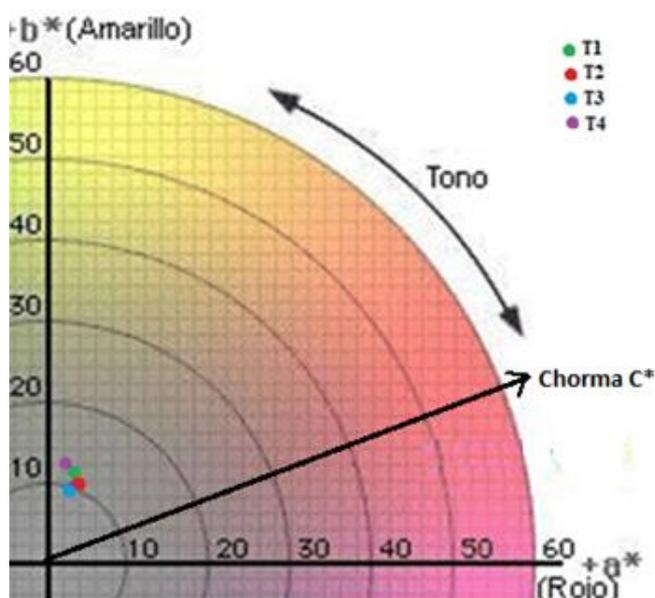
El componente de cromaticidad  $b^*$  indica valores de 11.97 a 11.65 para la variedad Nacional y de 12.63 a 11.91 para la variedad CCN-51. Estos valores reflejan que, durante el proceso de secado, los granos adquirieron menos tonalidad amarilla. Sin embargo, estos valores no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Tal como mencionan Quiroz & Fogliano, (2018); Torres, (2021) los valores  $a^*$  y  $b^*$  pueden verse afectados por la presencia y degradación de los polifenoles y flavonoides. Durante el secado, la oxidación enzimática de los polifenoles, por acción de la polifenoloxidasas en presencia de oxígeno, seguida de la condensación con las proteínas, es la responsable del color pardo de los granos (Hashim et al., 1999; Vázquez et al., 2016).

La comparación de los ángulos de tono (H) mostró que los granos fermentados eran significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) de los granos secos. El ángulo de tono más bajo registro el T2, que indica un mayor color marrón en comparación con las demás muestras. El ángulo de tono mostró una tendencia decreciente, lo cual indica que las coloraciones tienden hacia tonos rojo-naranja.

En cuanto al parámetro de cromaticidad (C) también conocido como saturación, intensidad, pureza o “chroma”, de acuerdo con Rettig & Hen (2014), definen la intensidad o pureza espectral del color que va desde los tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos. En este estudio los datos obtenidos oscilan entre 11.78 y 12.66, al tomar de referencia la Figura 23 estos valores sugieren coloraciones pálidas u opacas.

**Figura 26**

Diagrama CIELab para Granos de Cacao.



Adicionalmente, en el Anexo 15 se presentan evidencias fotográficas de los granos de cacao antes y después del proceso de secado. En ellas, se pueden apreciar cambios en el color, pasando de marrón claro a marrón oscuro. El cambio de color visible a simple vista indica la oxidación de los compuestos fenólicos, posiblemente debido a la formación y oxidación de complejos proteína-fenoles (Afoakwa et al., 2013). Además, otra reacción que contribuye a la aparición del característico color marrón en los granos fermentados y secos es la oxidación enzimática de compuestos fenólicos como las leucocianidinas y las epicatequinas, catalizada por la enzima polifenoloxidasas. (Sánchez, 2017).

### 3.2 Evaluación de los Métodos de Secado en Pasta de Cacao

Una vez obtenido el cacao fermentado se procedió a ejecutar las diferentes operaciones unitarias de secado y tostado con el objetivo de obtener pasta. Completado este proceso, se evaluaron las variables funcionales y físicas. Previo a realizar el análisis estadístico se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks, donde se obtuvo un *p-valor* de 0.004, 0.0010, 0.9434 y 0.3778 correspondiente a los polifenoles totales, actividad antioxidante,

humedad y actividad de agua respectivamente, que permitió verificar el supuesto de normalidad del modelo.

Según el análisis de varianza (Tabla 20), se observa que todos los factores e interacciones tienen un impacto significativo en las variables de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, excepto el Factor B, que no muestra un efecto significativo en los compuestos fenólicos. En contraste, tanto la humedad como la actividad del agua no se ven afectadas por los factores e interacciones. Al existir diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5% (ver Anexo 5) y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (ver Anexo 4).

**Tabla 20**

*Análisis de Varianza para las variables evaluadas en pasta de cacao.*

Fuentes de Variación	GL	Compuestos Fenólicos	Actividad Antioxidante	Humedad	Actividad de agua
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
Total	11				
Tratamientos	3	<0.0001**	<0.0001**	0.5058ns	0.3300ns
A (Método de Secado)	1	0.0190*	<0.0001**	0.1824ns	0.1950ns
B (Variedad de Cacao)	1	0.6040ns	<0.0001**	>0.9999ns	0.1950ns
Interacción AxB	1	<0.0001**	<0.0001**	0.5402ns	>0.9999ns
Error	8				
CV (%)		4.59	2.96	9.26	2.04

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según la Prueba de Tukey ( $p \geq 0.05$ ). \*Significativo ( $p < 0.05$ ). \*\*Altamente Significativo ( $p < 0.01$ ) y ns: No significativo

### 3.2.1 Polifenoles Totales

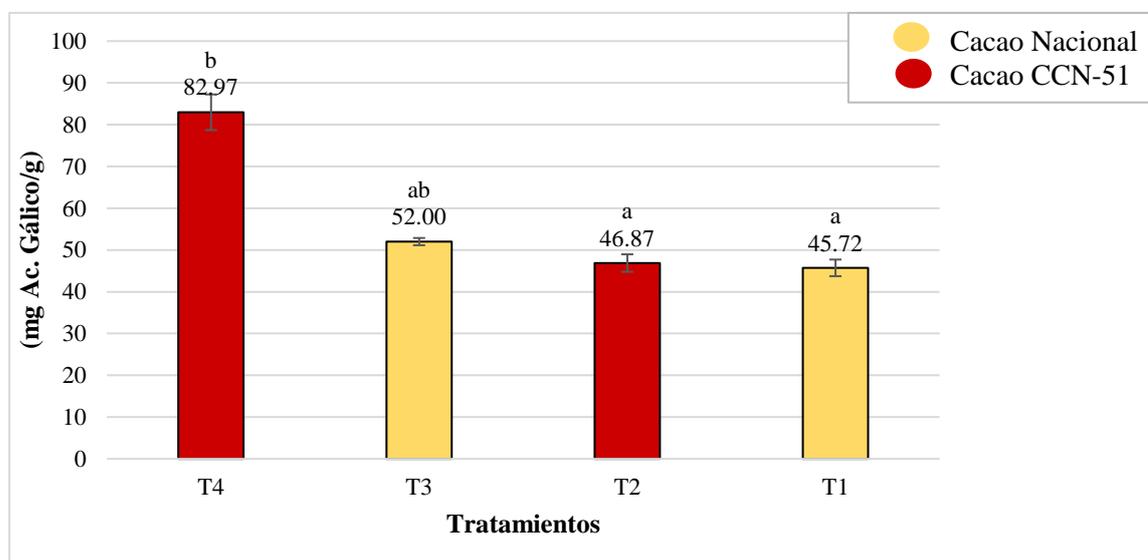
A continuación, se presenta el análisis estadístico para polifenoles totales en pasta de cacao realizado mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (Anexo 1). Esta prueba se utilizó debido a que el conjunto de datos evaluados no cumplió con los supuestos

de normalidad y homogeneidad. Los resultados indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos en términos de polifenoles.

No obstante, para respaldar estos resultados, se realizó una prueba de Ranking (Anexo 3) donde se evidencia el comportamiento de los compuestos fenólicos en pasta de cacao para los cuatro tratamientos. Las medias obtenidas se expresan en unidades equivalentes a mg Ac. Gálico/g (Figura 27).

**Figura 27**

*Compuestos Fenólicos en Pasta de Cacao.*



El contenido promedio de compuestos fenólicos en las pastas de cacao se encontró en un rango de 48.86 mg Ac. Gálico/g para la variedad Nacional y 64.92 mg Ac. Gálico/g para la variedad CCN-51. Al comparar las pastas con los granos de cacao, se observó una pérdida de polifenoles totales del 13.60% para la variedad Nacional y del 30.58% para la variedad CCN-51. Estos resultados coinciden con la investigación de Perea-Villamil et al., (2009), donde se indica que la pérdida de polifenoles se ve afectada por el proceso de transformación del grano, con una pérdida estimada del 24%. Por otro lado, Arlorio et al., (2008); Gustavo et al., (2021), mencionan que la disminución de fenoles osciló entre el 32.63% (variedad Arriba) y 54.74% (variedad Ghana). Estos porcentajes indican una

pérdida aún mayor en la concentración de fenoles durante el proceso de transformación del grano.

En la Figura 27, se observa que únicamente el tratamiento T4 (Secadora Rotatoria y Variedad CCN-51) fue estadísticamente distinto. Esto indica que el método de secado influye sobre el contenido de polifenoles. En el caso del tratamiento T4, las condiciones de secado (45 °C - 12 h) con remoción constante, resultaron favorables para preservar los compuestos fenólicos.

Teniendo en cuenta a Herman et al., (2018) en su estudio sobre secado convectivo de granos fermentados de cacao amazónico, mencionan que durante este proceso coexisten dos fenómenos: la hidrólisis térmica que contribuye a un aumento del contenido de polifenoles y la oxidación que conduce a una disminución de este contenido. Uno de los principales factores que puede contribuir a esta degradación son las enzimas polifenol-oxidadas, las cuales se activan durante la fermentación y el secado del cacao. Además, el rango ideal de activación de la polifenol-oxidasa, es cercano a los 35 °C. Por lo tanto, cuando la temperatura de secado aumenta, esta enzima pierde una parte importante de su capacidad para catalizar la oxidación de polifenoles, lo que a su vez conduce a una menor presencia de residuos de polifenoles en los granos de cacao (Herman et al., 2018; Kyi et al., 2005). Esto explica por qué la disminución del contenido de polifenoles durante el secado es menos pronunciada a altas temperaturas de secado.

A pesar de que la literatura menciona que puede haber diferencias en los polifenoles según la variedad de cacao, la presente investigación reveló que después del procesamiento, estas no fueron significativas. Se destaca que el contenido inicial de polifenoles fue de 56.95 y 93.52 mg Ac. Gálico/g para las variedades Nacional y CCN-51, respectivamente, sin embargo, se observó una disminución después del tratamiento.

Estos resultados indican que se produjo una disminución en el contenido de polifenoles durante la obtención de pasta de cacao, posiblemente debido a una mayor reacción de oxidación, como indican Herman et al., (2018) en su trabajo. Además, al comparar los métodos de secado utilizados, se observó que tanto en la secadora como en la marquesina se produjo una degradación de los polifenoles, aunque esta fue significativamente menor en el caso de la secadora rotatoria.

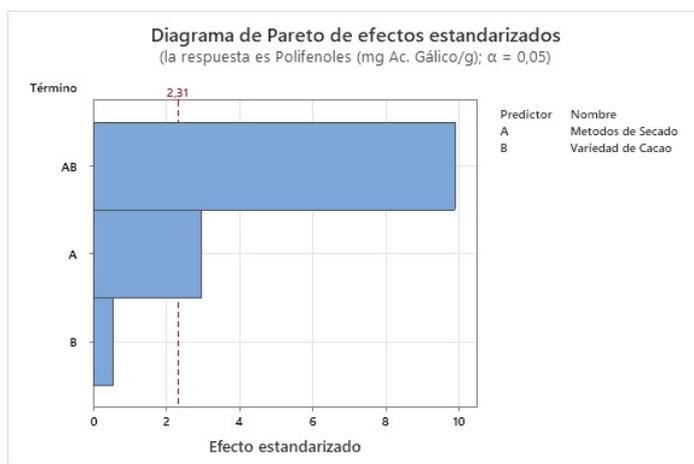
Entre todos los tratamientos evaluados, se observó que el T1 (Marquesina - Variedad Nacional) registró el valor más bajo con 45.72 mg Ac. Gálico/g. Lo que representa una cantidad superior al reportado por Urbańska & Kowalska, (2019), quienes destacaron que el chocolate amargo elaborado con granos provenientes de Colombia tiene un mayor contenido de polifenoles totales de 40.55 mg Ac. Gálico/g, seguido de Ecuador con 36.09 mg Ac. Gálico/g. Sin embargo, no mencionan la zona de donde obtuvieron la materia prima, lo cual es un factor determinante en la cantidad de polifenoles presentes en el cacao.

Según el estudio llevado a cabo por Chávez-Salazar et al., (2022), mencionan que el secado por flujo de aire caliente fue el método de secado con mayor conservación de polifenoles totales en los clones de cacao CCN-51 (80.8 mg Ac. Gálico/g) y Nacional (76.9 mg Ac. Gálico/g), mientras que el secado con secador solar obtuvo valores de 56.1 y 67.0 mg Ac. Gálico/g para la variedad Nacional y CCN-51, respectivamente. Estos hallazgos indican claramente que el cacao CCN-51 cuando se seca utilizando una secadora rotatoria, retiene una mayor cantidad de polifenoles en comparación con el método de secado en marquesina.

El análisis mostrado en la Figura 28, indica que el factor A (Métodos de secado), y la interacción AB (Métodos de secado vs Variedad de cacao), indican efecto sobre los polifenoles totales presentes en la pasta de cacao de los diferentes tratamientos.

**Figura 28**

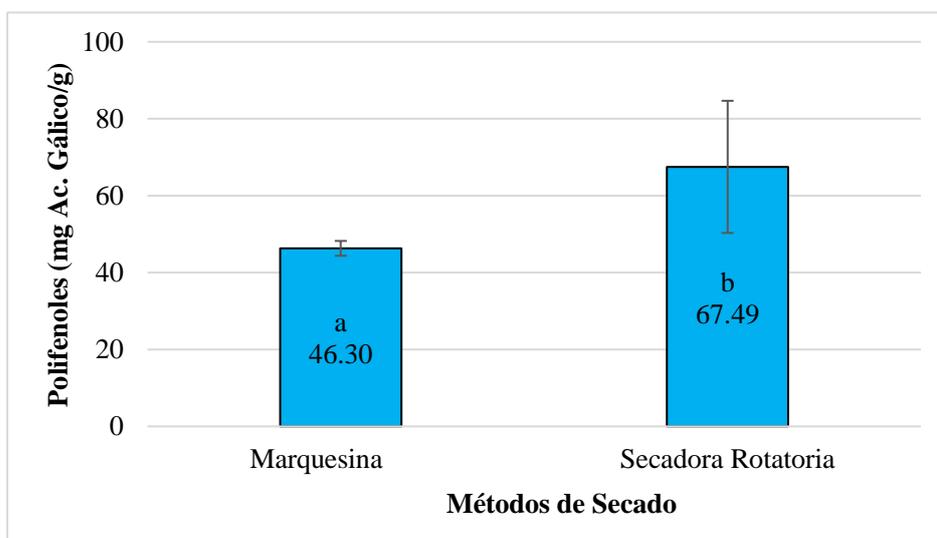
*Factores e Interacción que Influyen Sobre los Compuestos Fenólicos.*



Para la prueba de Kruskal Wallis mostrado en el Anexo 1, se identificó diferencias significativas para el factor Método de Secado ( $p < 0,05$ ) en el contenido de compuestos fenólicos, por lo que se procedió a realizar una prueba DMS (Anexo 4).

**Figura 29**

*Diferencia Mínima Significativa de Método de Secado.*



La Figura 29 indica que el secado rotatorio presenta valores de compuestos fenólicos superiores al secado en marquesina. Lo anterior se debe a que los compuestos fenólicos durante la operación de secado pueden verse afectados especialmente por la temperatura, la velocidad de secado y el tiempo de secado. Además, cuando se utilizan altas temperaturas y se prolonga el tiempo de secado, la degradación también puede verse afectada por la destrucción celular (Alean et al., 2016). Sin embargo, al analizar los diferentes métodos de secado, se observa que en la secadora rotatoria se controla la temperatura y la distribución de calor se optimiza debido al constante movimiento, lo que reduce el tiempo de secado, mientras que en la marquesina depende de las condiciones climáticas. De tal modo que a mayor temperatura y menor tiempo se reduce la actividad enzimática de las enzimas polifenol oxidasas y ayuda a retener un mayor contenido de compuestos fenólicos en el grano de cacao seco (Santhanam et al., 2017).

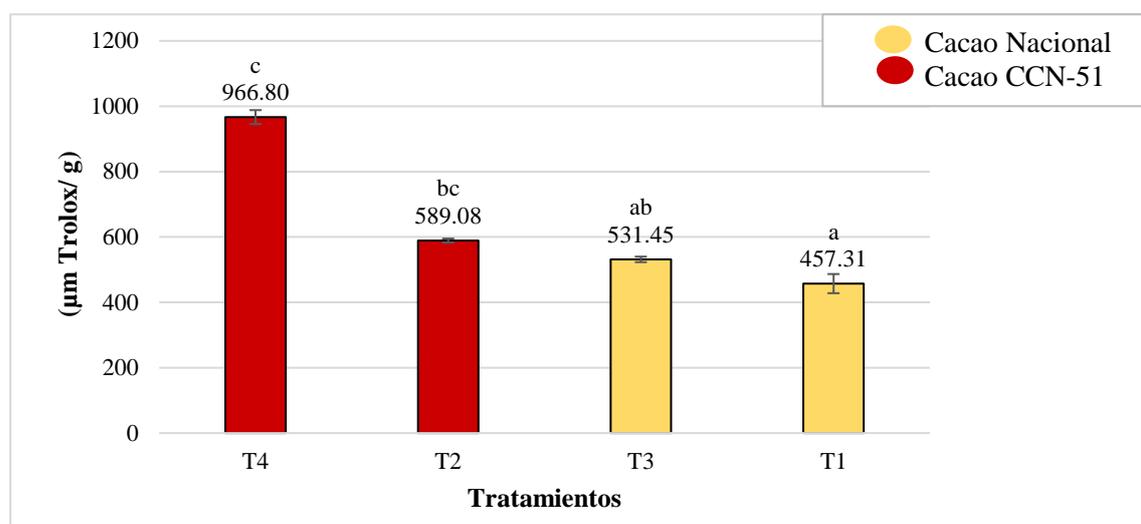
Por el contrario, el valor bajo para los granos secados al sol podría deberse al periodo de secado suave y prolongado, lo que permite que la enzima oxidasa permanezca activa durante más tiempo. Sin embargo, en condiciones de luz solar intensa, como ocurre en el secado solar directo/indirecto, la degradación también podría atribuirse al efecto térmico. Deus et al., (2018) da a conocer que la reducción de los polifenoles durante el secado al sol es atribuida principalmente al pardeamiento enzimático causado por una reacción de polifenoloxidasas. Esto es seguido por un pardeamiento no enzimático, que resulta de la polimerización de quinonas como consecuencia de la acumulación de compuestos insolubles.

La investigación realizada por Teh et al., (2016) sobre la degradación de polifenoles en granos cacao, han demostrado una disminución en la cantidad de compuestos fenólicos por diferente método de secado. Los cuales presentaron los

siguientes resultados  $42.1 \pm 0.13$  y  $15.0 \pm 0.77$  mg Ac. Gálico/g, en los granos secos por aire caliente ( $60\text{ }^{\circ}\text{C} - 24\text{ h}$ ) y secados al sol, respectivamente. Estos valores son inferiores a los obtenidos en el presente estudio. En otro estudio realizado por Santhanam et al., (2017), con granos sin fermentar, se encontró que la liofilización presentó mayor retención de contenido total de polifenoles ( $126.3 \pm 3.2$  mg Ac. Gálico/g) valor superior a los resultados de esta investigación. Esto se atribuye a las bajas temperaturas de secado inducidas por el vacío que impiden el proceso de pardeamiento al inactivar la actividad enzimática. Por otro lado, Alean et al., (2020), señalaron que el secado de granos de cacao utilizando microondas (MWs) mantuvo porcentajes de polifenoles más altos en comparación con el secado solar ( $32.99 \pm 1.59$  y  $23.12 \pm 0.91$  mg Ac. Gálico/g, respectivamente).

### **3.2.2 Capacidad Antioxidante**

En la cuantificación de capacidad antioxidante ( $\mu\text{m Trolox/g}$ ) en pasta de cacao desengrasada se determinó que son datos no paramétricos. Por lo tanto, se aplicó el método de Kruskal Wallis (Anexo 1) donde se determinó que al menos uno de los tratamientos es distinto al resto ( $p < 0.05$ ). Además, para identificar las diferencias entre tratamientos se realizó la Prueba de Ranking (Anexo 3).

**Figura 30***Capacidad Antioxidante en Pasta de Cacao.*

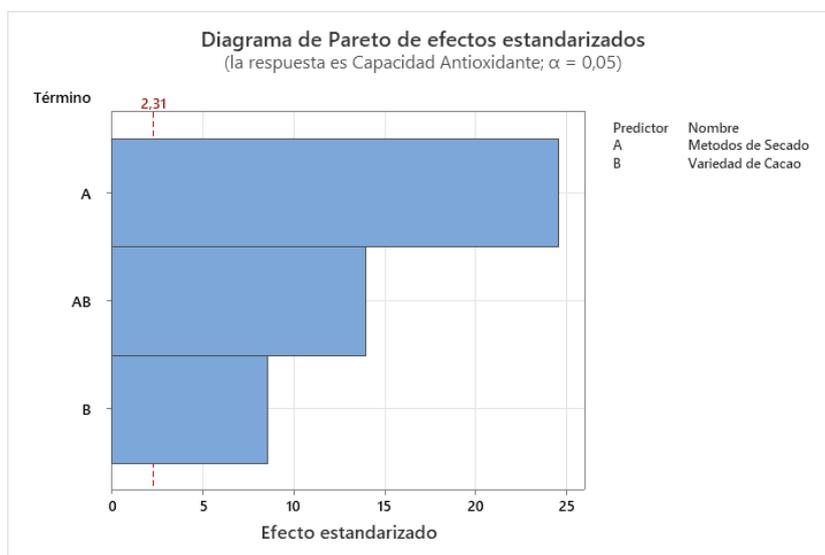
En la Figura 30, se observa que el tratamiento T4 (Secadora Rotatoria y Variedad CCN-51) exhibió la concentración más elevada de capacidad antioxidante. Esto indica claramente que el contenido actividad antioxidante en pasta de cacao varía según el método de secado utilizado y la variedad. Este hallazgo coincide con la investigación de Değirmencioglu et al., (2016), quienes señalan que las condiciones y métodos de secado juegan un papel crucial en la determinación de la actividad antioxidante. Además, Vertuani et al., (2014), mencionan que la alta actividad antioxidante no solo depende de la cantidad de cacao empleada, sino también su calidad y procedencia, lo que afecta las propiedades del producto.

Los resultados obtenidos revelaron que los tratamientos exhibieron un rango de actividad antioxidante con un contenido mínimo de 457.31 µm Trolox/g y un contenido máximo de 966.80 µm Trolox/g. Ambos valores superaron los reportados por Tolentino et al., (2019) cuyo contenido en pasta de cacao fue de  $412.34 \pm 2.26$  µm Trolox/g, y por Żyżelewicz et al., (2018), el cual fue de  $961 \pm 28$  µm Trolox/g.

El análisis mostrado en la Figura 31, indica que el factor A (Métodos de secado), factor B (Variedad de cacao) y la interacción AB (Métodos de secado vs Variedad de cacao), presentan gran magnitud de efecto sobre la capacidad antioxidante presentes en la pasta de cacao de los diferentes tratamientos. Es evidente que el factor método de secado presentan mayor magnitud de efecto sobre esta variable.

### Figura 31

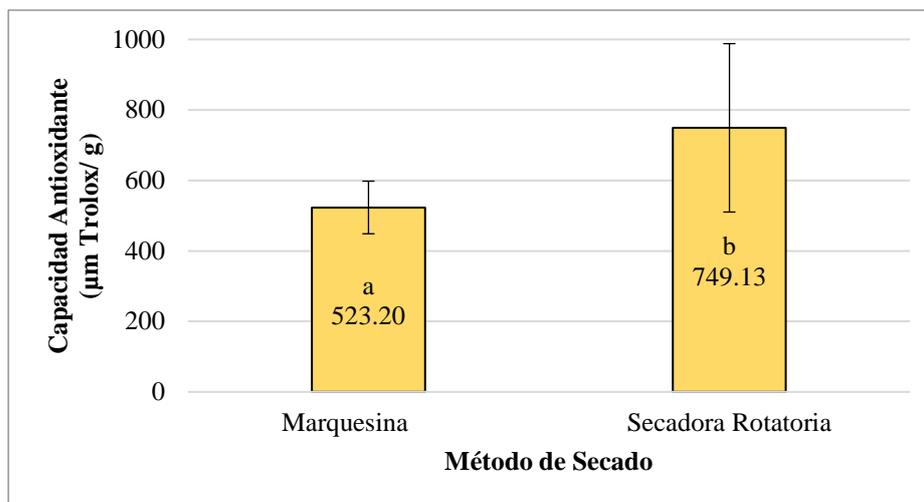
*Factores e Interacción que Influyen Sobre la Capacidad Antioxidante.*



Mediante la prueba de Kruskal Wallis (Anexo 1), se identificó diferencias significativas en el contenido de antioxidantes para el factor Método de Secado ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar una prueba DMS (Anexo 4).

**Figura 32**

*Diferencia Mínima Significativa de Método de Secado.*



La Figura 32 indica que el secado rotatorio conserva mayor cantidad de capacidad antioxidante durante el proceso de obtención de pasta en comparación con el secado en marquesina. Esto puede deberse a que la secadora rotatoria permite un control más preciso de las condiciones de secado, como es la temperatura y la distribución de calor, que se optimiza debido al constante movimiento del grano. Por lo tanto, se reduce el tiempo de secado, lo que puede contribuir a una mayor preservación de los compuestos antioxidantes presentes en los granos de cacao de manera más efectiva que el secado natural, el cual está sujeto a las condiciones climáticas variables y menos controladas. De acuerdo con Alean et al., (2016), el largo tiempo de secado puede dar lugar a procesos oxidativos irreversibles que tienen un impacto negativo en los compuestos fenólicos presentes en el cacao, lo cual conduce a una disminución en sus propiedades antioxidantes.

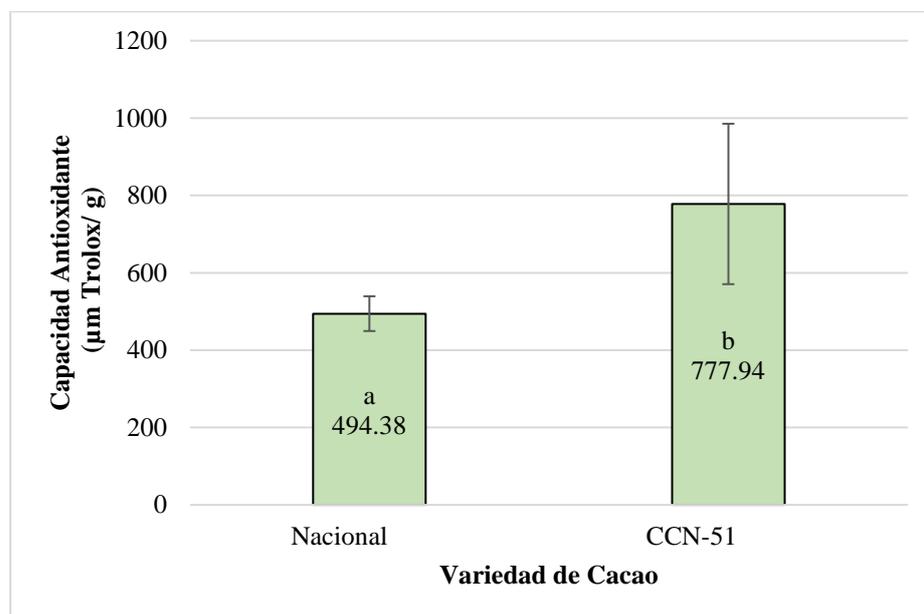
Además, durante el procesamiento del grano, la reacción de Maillard o pardeamiento no enzimático contribuye a la formación de sustancias reductoras (por ejemplo, melanoidinas) cuyo poder reductor es responsable de su actividad de eliminación de radicales libres, lo que aumenta el efecto antioxidante (Batista et al., 2016). Por otra

parte, Santhanam et al., (2017), señaló que el secado provoca una disminución significativa de compuestos bioactivos, como los flavonoides, los cuales son compuestos antioxidantes clave presentes en el grano de cacao.

Por otra parte, se identificó diferencias significativas en el factor Variedad ( $p < 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar una prueba DMS (Anexo 4).

### Figura 33

*Diferencia en la Capacidad Antioxidante entre las Variedades de Cacao.*



La Figura 33 revela que el contenido de capacidad antioxidante durante el proceso de secado se ve afectado de manera significativa por la variedad. Estos resultados respaldan las afirmaciones de Cortez et al. (2023), quienes sugieren que los compuestos bioactivos de los granos de cacao pueden cambiar según la variedad cultivada y los procesos postcosecha (fermentación y secado). Además, Gil et al., (2021) mencionan que la capacidad antioxidante, se ve significativamente afectada por la variedad de cacao.

En cuanto a los porcentajes, la variedad Nacional mostró una disminución del 26.49 % en el contenido de capacidad antioxidante, mientras que la variedad CCN-51 registró una reducción del 28.66 %. Esto puede ser debido a la sensibilidad del grano al

someterlo a los diferentes métodos de secado y de acuerdo con los resultados obtenidos la variedad CCN-51 es más sensible a este factor y sufre mayor pérdida de antioxidantes durante el procesamiento en comparación con la variedad Nacional.

En el secado ocurren reacciones de oxidación no enzimática que son aceleradas por el incremento de oxígeno al cual está expuesto el tejido de los granos. Además, cuando las semillas de cacao son sometidas a este proceso enzimático su contenido de polifenoles continúa reduciéndose (Pallares, et al., 2016). Por lo tanto, esta información corrobora lo antes mencionado.

Perea-Villamil et al., (2009), señalan que las diferentes etapas del proceso de obtención de licor de cacao tienen un impacto sobre la actividad antioxidante que originalmente se encuentra en las semillas de cacao fermentadas y secas, siendo el tostado el factor de mayor influencia debido a las altas temperaturas empleadas; durante esta etapa, se registra una pérdida de alrededor del 24% de la actividad antioxidante. Con base en este contexto, la capacidad antioxidante en pasta es considerablemente inferior a la de los granos de cacao. Según señalan Vertuani et al., (2014), debido a la variedad de cacao y el procesamiento de elaboración de pasta, es poco probable que la proporción de actividad antioxidante presente en los granos sea la misma que en los productos terminados.

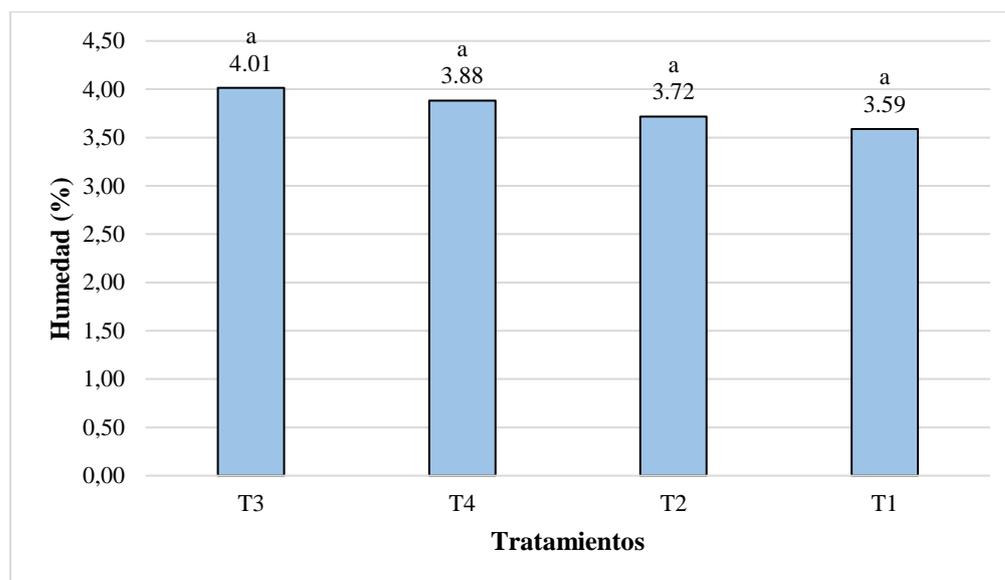
Por otra parte, Perea-Villamil et al., (2009) establece una relación directa entre el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante. Sin embargo, estas variables se ven influenciadas por el proceso de transformación del grano de cacao. Con base en este contexto, se puede inferir que los métodos de secado tienen influencia significativa sobre dichas variables evaluadas, ya que exhiben un comportamiento similar.

### 3.2.3 Humedad

El análisis realizado con respecto a la humedad muestra que no hubo diferencia significativa (Anexo 2). A continuación, se indica el comportamiento de la humedad en pasta de cacao de cada uno de los tratamientos (Figura 34).

**Figura 34**

*Humedad en Pasta de Cacao.*



La humedad promedio encontrada en la pasta o licor de cacao fue de 3.80%, los resultados hallados en esta investigación son similares a los que exige la norma NTE INEN 623, en donde reporta que la humedad máxima permitida en este tipo de producto es del 3%; esto puede deberse al tipo de cacao utilizado en su elaboración, así como por las condiciones de almacenamiento. Es fundamental que el almacenamiento se realice en lugares secos y oscuros, con una temperatura de 10 a 18 °C, para imposibilitar condensaciones de humedad (Agell, 2015).

En comparación con otras investigaciones, Cortez, (2018) señala que en su estudio obtuvo un valor de humedad del 2.15% en licor de cacao de la variedad Nacional, mientras

que Sánchez et al., (2016) obtuvo un contenido de humedad en chocolate amargo de 1.64 a 1.97%. Estos valores resultaron ser inferiores a los obtenidos en esta investigación.

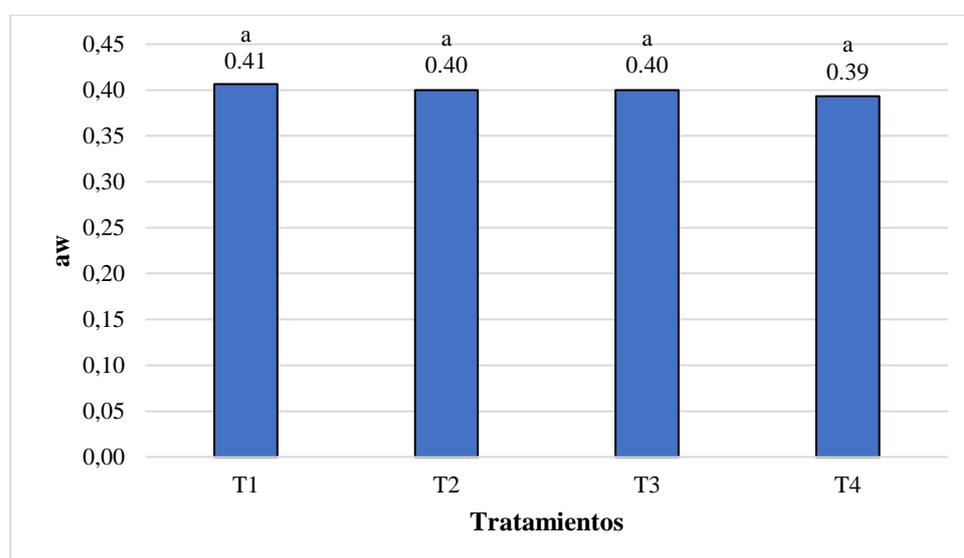
### 3.2.4 Actividad de agua (*aw*)

En el Anexo 2 se presenta el análisis de varianza de la actividad de agua, donde se evidenció que no existen diferencias significativas.

A continuación, se indica el comportamiento de la actividad de agua en pasta de cacao de cada uno de los tratamientos (Figura 35).

**Figura 35**

*Actividad de Agua en Pasta de Cacao.*



En la Figura 35 se puede observar que los cuatro tratamientos alcanzaron resultados similares, con un promedio de 0.40 aw. Este valor es comparable al obtenido por Żyżelewicz et al., (2018), quienes reportaron un valor de  $0.46 \pm 0.03$  aw. La actividad de agua suele ser baja debido a la presencia de compuestos sólidos como los azúcares y polifenoles, que retienen el agua en forma ligada. Los datos encontrados en esta investigación se encuentran en el rango a los que indican Nascimento et al., (2011) en donde reporta que la aw en licor de cacao va de 0.22 a 0.80. Teniendo en cuenta a Beckett

& Royal Society of Chemistry (Great Britain), (2008); Vera & Baque, (2015) la actividad de agua en polvo de cacao va desde 0.1 a 0.35.

Según los resultados obtenidos una baja actividad de agua es favorable, ya que limita el crecimiento y la proliferación de microorganismos tales como bacterias, levaduras, hongos, *Salmonella*, *Clostridium botulinum*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus subtilis*, que requieren niveles más altos de actividad de agua para su supervivencia. Además, se conservan los compuestos fenólicos que son solubles en el agua ligada, los ácidos grasos, sabores y aromas propios de la pasta de cacao.

A continuación, a manera de resumen (Tabla 21) se presenta el contenido de las propiedades funcionales y físicas en pasta de cacao.

**Tabla 21**

*Resumen de las Propiedades Funcionales y Características Físicas en Pasta de Cacao.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Compuestos Fenólicos (mg Ac. Gálico/g)</b>	<b>Actividad Antioxidante (<math>\mu\text{m Trolox/g}</math>)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Actividad de agua (Aw)</b>
T1	45.72 $\pm$ 1.99 <sup>a</sup>	457.31 $\pm$ 29.2 <sup>a</sup>	3.59 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	0.41 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
T2	46.87 $\pm$ 2.09 <sup>a</sup>	589.08 $\pm$ 6.06 <sup>bc</sup>	3.72 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>	0.40 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
T3	52.00 $\pm$ 0.87 <sup>ab</sup>	531.45 $\pm$ 8.42 <sup>ab</sup>	4.01 $\pm$ 0.45 <sup>a</sup>	0.40 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
T4	82.97 $\pm$ 4.27 <sup>b</sup>	966.80 $\pm$ 21.35 <sup>c</sup>	3.88 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.39 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
CV	4.59	2.96	9.26	2.36

Medias  $\pm$  desviación estándar.

T1: Secado en Marquesina. Variedad Nacional; T2 Secado en Marquesina. Variedad CCN-51;

T3: Secadora Rotatoria. Variedad Nacional; T4: Secadora Rotatoria. Variedad CCN-51

### 3.2.5 Colorimetría

La Tabla 22 indica los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad ( $C^*$ ) y matiz ( $H^*$ ), en pasta de cacao de cada uno de los tratamientos.

**Tabla 22**

*Valores de los componentes del color.*

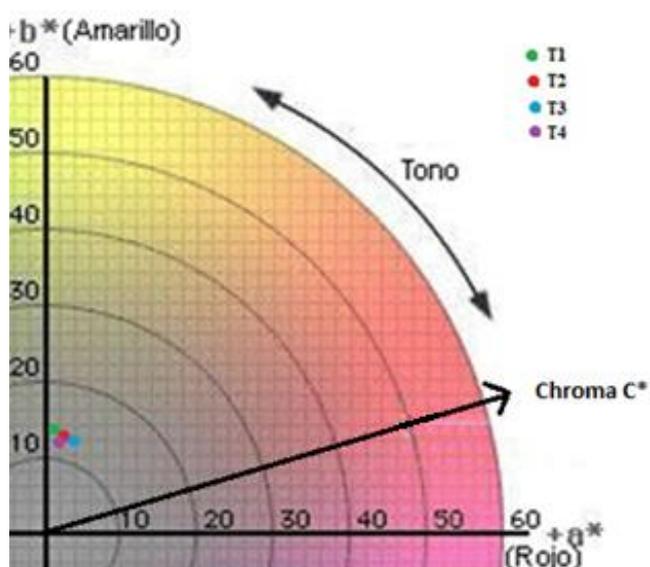
<b>Pasta de Cacao</b>				
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
L*	32.23±0.96 <sup>a</sup>	32.30±0.43 <sup>a</sup>	32.07±0.22 <sup>a</sup>	31.73±0.44 <sup>a</sup>
a*	1.17±0.80 <sup>a</sup>	1.60±0.84 <sup>a</sup>	1.63±0.45 <sup>a</sup>	1.39±0.93 <sup>a</sup>
b*	12.94±0.43 <sup>a</sup>	12.85±0.12 <sup>a</sup>	12.43±0.2 <sup>a</sup>	12.43±0.20 <sup>a</sup>
H	84.93±3.26 <sup>a</sup>	82.92±3.68 <sup>a</sup>	82.54±2.11 <sup>a</sup>	83.58±4.36 <sup>a</sup>
C	12.99±0.51 <sup>a</sup>	12.97±0.18 <sup>a</sup>	12.54±0.18 <sup>a</sup>	12.53±0.08 <sup>a</sup>

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según la Prueba de Tukey ( $p \geq 0.05$ ).

En la Tabla 22 se muestran los resultados de las características colorimétricas del licor de cacao. En la coordenada L\*, se obtuvo un valor promedio del 32.08%, lo cual indica un color marrón oscuro. En cuanto a la coordenada a\*, se registró un valor promedio de 1.45 encontrándose entre el color marrón (combinación de rojo – verde) y la coordenada b\*, obtuvo un valor promedio de 12.66 lo que indica tonalidades cercanas al amarillo (Figura 36).

**Figura 36**

*Diagrama CIELab para Pasta de Cacao.*

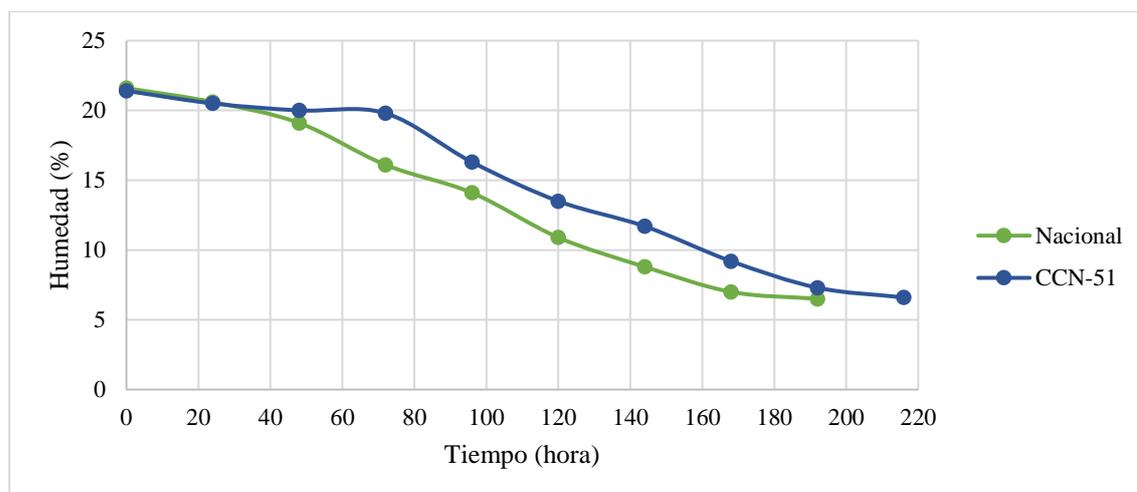


### 3.2.6 *Cinética de Secado*

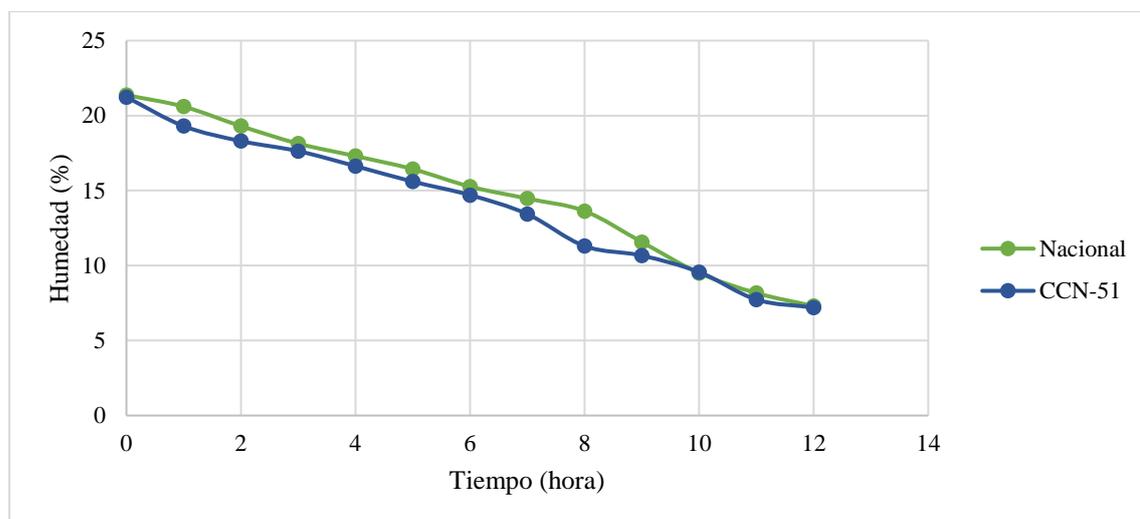
Los resultados experimentales indicaron una reducción del contenido de humedad desde  $21.27 \pm 0.21$  % hasta  $6.80 \pm 0.65$  %. Este valor es inferior al porcentaje máximo de humedad permitido para el cacao, establecido por la NTE INEN 176, (2018) de 7 %. El secado por marquesina tardo 7 días en secar los granos de cacao de variedad Nacional y 9 días para la variedad CCN-51 (Figura 37), mientras que la secadora rotatoria tardo solo 12 horas en las dos variedades de cacao (Figura 38). Es evidente que el contenido de humedad disminuyó constantemente con el tiempo de secado.

Las condiciones climáticas influyeron en la variación de dos días en el secado mediante marquesina, lo que hace que el tiempo de secado sea un factor predominante en la obtención de un producto más homogéneo. Además, de acuerdo con Adeyemi et al., (2020), en la noche la temperatura ambiente disminuye y la humedad relativa aumenta; por lo que el grano de cacao en algunos casos puede reabsorber la humedad del ambiente, lo que lleva a un mayor tiempo de secado y a un producto de baja calidad. Por otro lado, en la secadora rotatoria no se registraron fluctuaciones de temperatura, ya que se mantuvo constante a  $45$  °C, al igual que la agitación, lo cual garantizó una distribución uniforme del calor.

Las diferencias observadas en cada tratamiento (Figura 37-38) son atribuidas a la temperatura del entorno y a la velocidad del viento, ya que el calor y el movimiento del aire ayudan a eliminar la humedad y facilitan la pérdida de agua (Sánchez, 2017). La aplicación de un proceso de secado artificial a los granos de cacao fermentados resulta ser una estrategia beneficiosa, puesto que, en comparación con el secado natural, es más eficiente en términos de tiempo.

**Figura 37***Curva de Secado en Marquesina.*

De acuerdo con Puello et al., (2017), en su investigación tuvo comportamientos similares utilizando secador solar de techo de plástico, donde tardo cuatro días en secar el grano y la humedad redujo de  $58.0 \pm 0.3 \%$  a  $7.0 \pm 0.2 \%$ . Estos resultados se obtuvieron bajo las condiciones climáticas de San Jacinto, Colombia, con una temperatura ambiente de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del  $76 \%$ . Mientras que el estudio realizado por Barrientos et al., (2019) en una marquesina tardo cinco días para lograr el secado del grano, reduciendo la humedad de,  $41 \pm 0.01 \%$  al  $7 \pm 0.01 \%$ , en base a las condiciones climáticas de Antioquia-Colombia, con una temperatura de  $26.4 \text{ }^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del  $90 \%$ . Desde el punto de vista de Rabha et al., (2017) el cambio en el contenido de humedad se debe al aumento de la temperatura del aire de la habitación del invernadero, siendo esto una condición favorable para los granos de cacao.

**Figura 38***Curva de Secado en Secadora Rotatoria*

Por otra parte, la utilización de una secadora rotaria de lecho fluidizado acorta el tiempo de secado de los granos de cacao. En comparación con otros estudios, el trabajo realizado por Castrillón & Flores, (2016) utilizando secadora automática con removedores tardó cinco horas en secar el grano a temperatura de aire de 45 °C y la humedad redujo de 53 % a 11 %, al igual que Orna et al., (2018) tardó 6 horas en secar el grano a una temperatura de aire promedio entre 43 – 44 °C la humedad redujo de 35.6 % a 10%. Aunque, en estas investigaciones, si bien el tiempo de secado es inferior al aplicado en nuestro estudio, lamentablemente no logran alcanzar el porcentaje de humedad requerido.

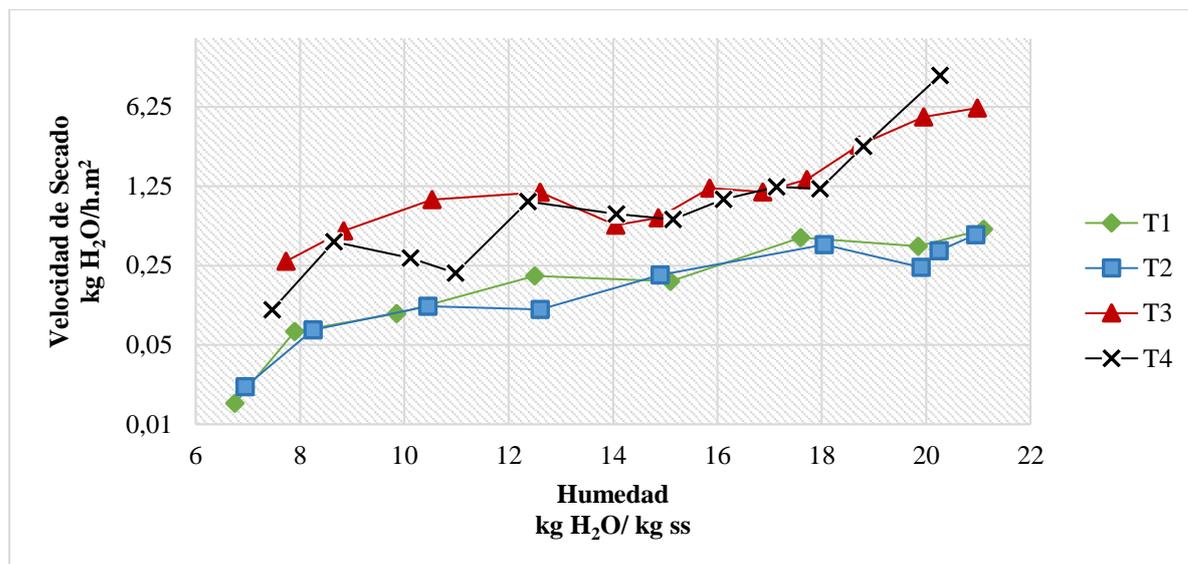
Finalmente, el secado más rápido y homogéneo de los granos de cacao dentro de la secadora rotatoria se debe a que los granos reciben aire caliente usando como combustible gas y se encuentran en remoción constante; mientras que el secado en marquesina los granos solo reciben energía tanto del aire como de la radiación solar incidente, lo que resulta un proceso más lento y menos uniforme.

### 3.2.7 *Curva de Velocidad de Secado*

Las curvas de velocidad de secado se presentan en la Figura 39. La velocidad de secado fue mayor a partir de los contenidos de humedad iniciales (21%) hasta aproximadamente un contenido de humedad del 7%. Las velocidades de secado más altas se registraron en la etapa inicial del secado con valores de 0.52 kg H<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, 0.47 kg H<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, 6.12 kg H<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> y 11.85 kg H<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> para el T1, T2, T3 y T4, respectivamente (Figura 39). Los tratamientos T1 y T2 (secado en marquesina) indica periodos de velocidad constante y velocidad decreciente debido a las condiciones ambientales fluctuantes (temperatura y humedad relativa). En general, las velocidades de secado de los tratamientos de secado en marquesina (T1-T2) fueron mucho más bajas que las de los tratamientos de secado en secadora rotatoria (T3-T4).

A velocidades de secado tan bajas, solo hay disponible una pequeña cantidad de agua libre y la difusión del agua ligada es el principal mecanismo que controla el transporte de agua. Según Teh et al., (2016), las tendencias descendentes de las curvas implican que solo se observaron períodos de velocidad decreciente durante el secado y que el proceso de secado se controló por difusión. Además, la ausencia de un período de velocidad constante indica que la evaporación de la humedad superficial libre fue rápida al comienzo del secado.

La disminución del contenido de agua ocurre de manera más rápida en las primeras horas de secado, debido a la eliminación de la humedad libre superficial de los granos de cacao. Posteriormente, la velocidad de secado se ralentiza debido a la disminución de la transferencia del agua desde los tejidos internos hacia la superficie, así como el endurecimiento superficial que obstaculiza la difusión del aire caliente hacia las capas internas húmedas de los granos (Mbakouop et al., 2023).

**Figura 39***Velocidad de Secado.*

La relación del contenido de humedad y la velocidad de secado disminuyeron continuamente con el tiempo, mostrando características de velocidad decrecientes. De acuerdo con MacManus et al., (2010); Otoikhian & Amune, (2022) afirmaron que el cacao exhibe un comportamiento de velocidad constante durante el secado, a partir de un contenido de humedad de 70-100% b.h; de tal modo, el contenido de humedad inicial del estudio no está dentro de este rango. En el período de velocidad decreciente, el movimiento de la humedad dentro del grano hacia la superficie se rige por la difusión, ya que el material ya no está saturado con agua (Omidi et al., 2022). Los resultados obtenidos en el estudio están de acuerdo con las observaciones de muchos investigadores anteriormente mencionados.

Una comparación con los valores de velocidad de secado de Teh et al., (2016) mostraron una tendencia similar donde se observa periodos de velocidad decreciente y ausencia de velocidad constante. Las tasas de secado iniciales se estimaron en rangos de 0.16 a 0.27 g H<sub>2</sub>O/g ss·h y 0.09 g H<sub>2</sub>O/g ss·h para secado con aire caliente y secado al sol,

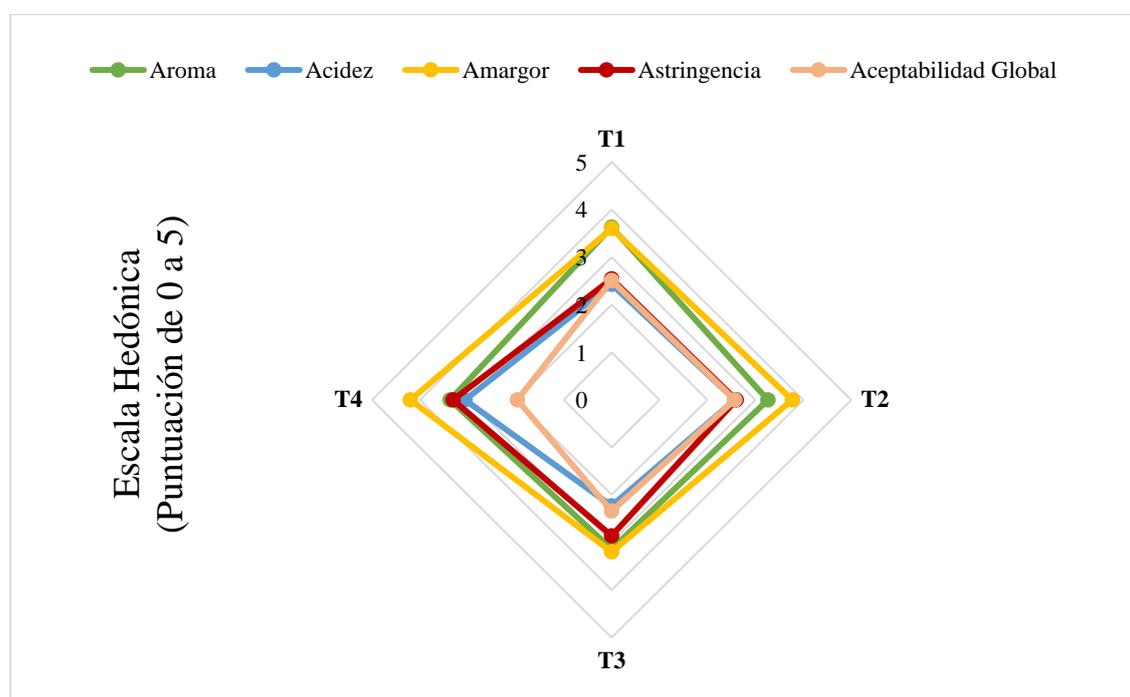
respectivamente. Asimismo, en el estudio realizado por Hii et al., (2012) las velocidades de secado más altas se registraron en la etapa inicial del secado con valores de 0.26 g H<sub>2</sub>O/g dm·h, 0.15 g H<sub>2</sub>O/g dm·h, 0.14 g H<sub>2</sub>O/g dm·h a temperaturas de secado de 80 °C, 70 °C y 60 °C, respectivamente. En efecto, se espera una tasa de secado más baja para el secado mediante marquesina debido a las condiciones ambientales.

### 3.3 Determinación de los Atributos Sensoriales de Preferencia en la Pasta de Cacao

Se evaluó los atributos sensoriales de la pasta de cacao (aroma, acidez, amargor, astringencia y aceptabilidad global), utilizando el formato del Anexo 16. Posteriormente, con resultados obtenidos, se realizó el análisis estadístico a partir de la prueba de Friedman al 5%.

**Figura 40**

*Representación Gráfica de los Atributos Sensorial en Pasta de Cacao.*



La Figura 40 muestra la proximidad de las líneas de tendencia de las medias correspondientes a las características sensoriales de los diferentes tratamientos. Esto

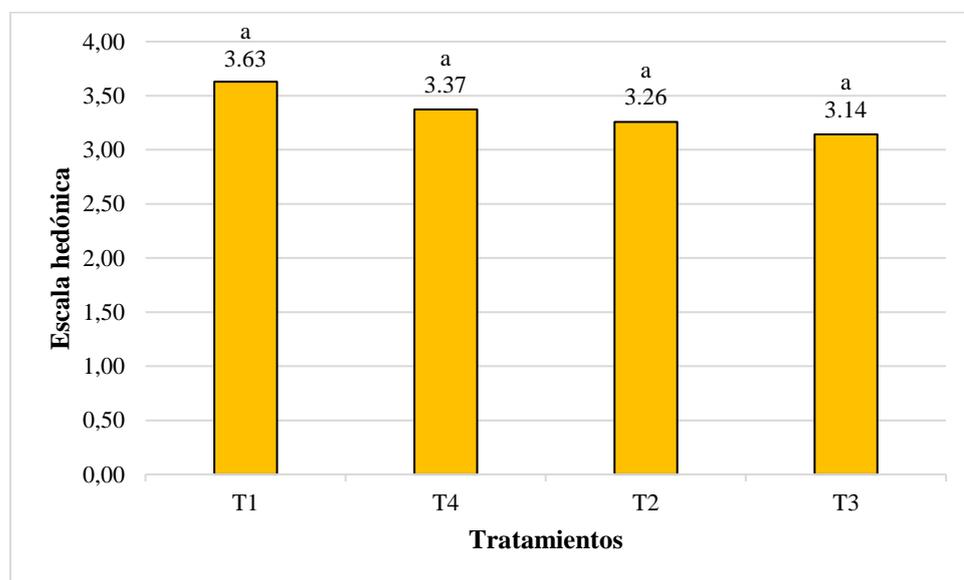
indica que el tratamiento que obtuvo mayor puntaje en términos de aroma, acidez, amargor y astringencia fue el T4 (Secadora Rotatoria y Variedad CCN-51), mientras que el tratamiento que obtuvo mayor aceptabilidad global fue el T2 (Marquesina y Variedad CCN-51). Sin embargo, para obtener una comprensión más detallada de la percepción de cada tratamiento, se evaluaron las puntuaciones medias que los panelistas otorgaron a cada característica sensorial.

### 3.3.1 Aroma

En la Figura 41, se muestra los resultados del atributo sensorial para la variable aroma aplicados en la pasta de cacao mediante la prueba de Friedman (Anexo 6), al realizar este método se determinó que no existe diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ); es decir, estadísticamente el aroma de los tratamientos evaluados es igual.

**Figura 41**

*Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Aroma para Pasta de Cacao.*



0	Ausente	1	Muy débil	2	Débil
3	Moderado	4	Intensa	5	Muy intensa

De acuerdo con lo establecido anteriormente, el parámetro aroma con relación a los tratamientos aplicados en la producción de pasta de cacao, no se observó diferencias significativas. Esto puede deberse a que el proceso de obtención de pasta fue estandarizado y es probable que las variaciones en el aroma se minimicen. Además, Ramos et al., (2013) mencionan que el impacto del aroma depende de la concentración de los compuestos que los genera y su consistencia durante la evaluación sensorial, es decir, la intensidad del estímulo; del mismo modo, la capacidad del catador para percibir el aroma influye directamente sobre su aceptación o rechazo. En este sentido, los panelistas no percibieron cambios en el aroma.

Los precursores del aroma (azúcares reductores, péptidos y aminoácidos libres), se generan en el grano a través de procesos enzimáticos durante la etapa de fermentación y secado. En el proceso de tostado, estos precursores se transforman en compuestos volátiles, como pirazinas y aldehídos, que son responsables de aportar notas aromáticas distintivas al cacao (Raharja et al., 2023). Además, la oxidación de los polifenoles contribuye a la formación de precursores del aroma (Herman et al., 2018).

Por otra parte, la temperatura de la masa de molienda se debe mantener por debajo de los 55 °C, para que el licor o pasta de cacao conserve el aroma intrínseco de los granos. Por encima de esta temperatura, los compuestos volátiles se pierden a una velocidad bastante superior (CAOBISCO/ECA/FCC, 2015).

A pesar de que el proceso estandarizado (Secadora rotatoria) mejora los resultados en términos de contenido de antioxidantes y polifenoles, así como reduce el tiempo de secado, no es considerado el preferido en términos de aroma. De acuerdo con González et al., (2012) mencionan que las diferencias entre el aroma de las muestras de cacao pueden atribuirse a la variación de la composición del grano, desde el origen botánico,

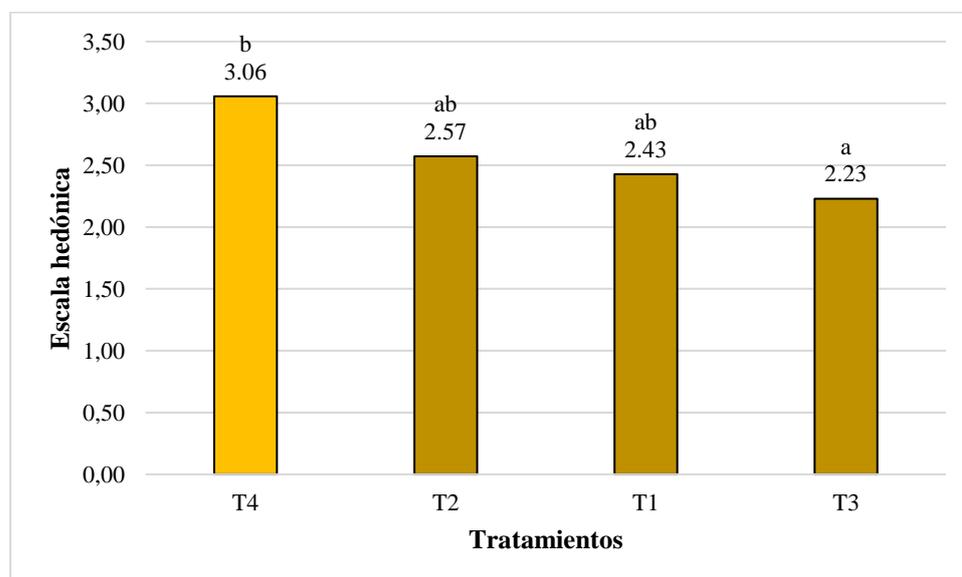
condiciones ambientales, prácticas agrícolas y procesamiento. Además, Equal Exchange Creative, (2018) señala que la ausencia o poca intensidad de aroma no significa que el licor de cacao tenga menor calidad.

### 3.3.2 Acidez

A través de la prueba no paramétrica Friedman (Anexo 6), lo cual arroja un  $p < 0.05$ , se comprobó que sí existen diferencias significativas en los tratamientos en cuanto a la acidez.

**Figura 42**

*Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Acidez para Pasta de Cacao.*



0	Ausente	1	Muy débil	2	Débil
3	Moderado	4	Intensa	5	Muy intensa

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Figura 42, el T4 (Secadora Rotatoria y Variedad CCN-51) obtuvo una calificación alta en comparación con los demás tratamientos. Esta diferencia podría ser atribuida al método de secado, ya que el secado rotatorio de menor duración es conocido por generar sabores ácidos y astringentes, según lo señalado por Nguyen, (2013). Esto se debe a que el secado rotatorio al ser más rápido

que el natural, genera una costra en el exterior del grano que impide la liberación de compuestos ácidos y astringentes presentes en su interior (Piza, 2017).

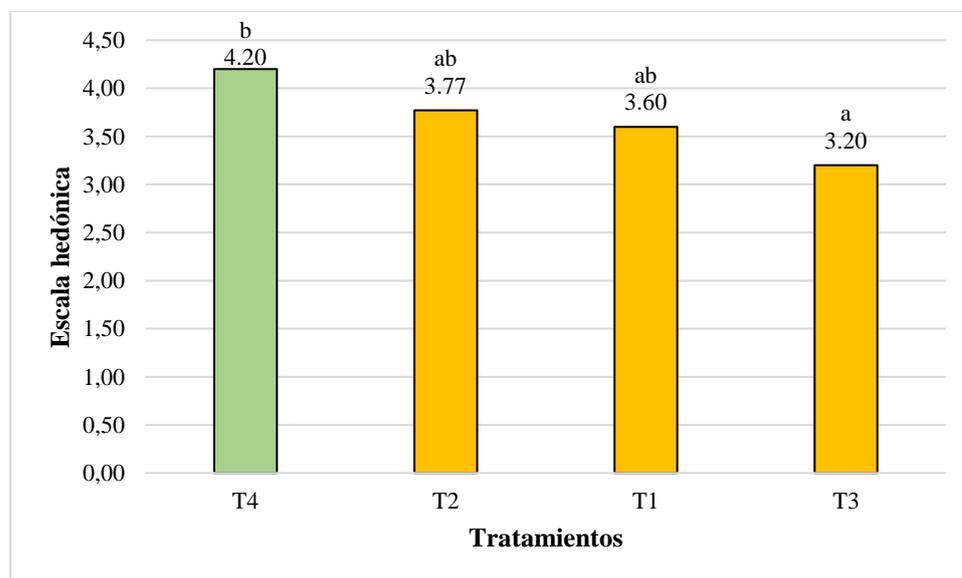
Por otra parte, Velásquez-Reyes et al. (2023) mencionan que los ácidos orgánicos como el ácido láctico y acético pueden persistir hasta la etapa de obtención de licor de cacao. Debido a su sabor agrio y ácido, respectivamente, es necesario agregar otros ingredientes al producto final, como el chocolate, para disimular su sabor.

### 3.3.3 Amargor

En la Figura 43 se puede apreciar los promedios de la calificación hedónica realizada para el amargor de cada uno de los tratamientos en estudio. La prueba no paramétrica de Friedman permitió identificar que si existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Figura 43**

*Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Amargor para Pasta de Cacao.*



0	Ausente	1	Muy débil	2	Débil
3	Moderado	4	Intensa	5	Muy intensa

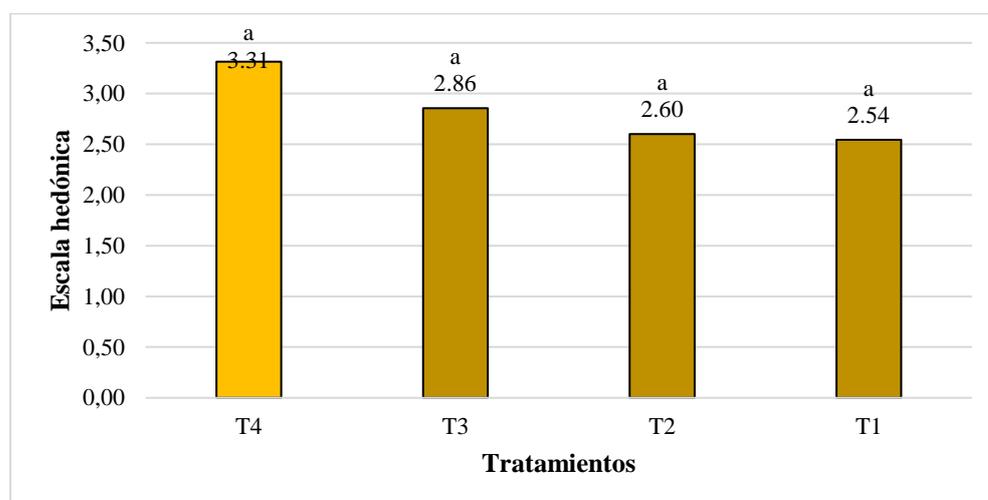
En la Figura 43 se observa que el T4 (Secadora Rotatoria y Variedad CCN-51) se encuentra en un nivel de amargor intenso de la escala hedónica, en comparación con los demás tratamientos. Varios estudios de evaluación sensorial, como los realizados por Menezes et al., (2016); Rottiers et al., (2019), han señalado que la variedad CCN-51 tiende a tener altos niveles de amargor y astringencia, en contraste con la variedad Nacional que exhibe bajos niveles de acidez, amargor y astringencia. Además, se observa que el T3 (Secadora Rotatoria y Variedad Nacional) presenta un valor bajo, lo cual indica una mayor calidad del licor. De acuerdo con Álvarez et al., (2018) esto se debe a que el amargor tiene una relación inversa con la calidad del producto final, es decir, a medida que aumenta el amargor, disminuye la calidad organoléptica del mismo.

### 3.3.4 Astringencia

Los resultados obtenidos en la evaluación de astringencia de los tratamientos en estudio se encuentran representados en la Figura 44. A través de la prueba no paramétrica Friedman (Anexo 6), se comprobó que no existen diferencias significativas en los tratamientos ( $p > 0.05$ ).

#### Figura 44

*Gráfica de Aceptabilidad Sensorial de Astringencia para Pasta de Cacao.*



0	Ausente	1	Muy débil	2	Débil
3	Moderado	4	Intensa	5	Muy intensa

Es evidente que no existe diferencia significativa entre tratamientos, ya que, según la percepción de los panelistas, todos presentan la misma astringencia. Solórzano et al., (2015), mencionan que los sabores básicos como la acidez y la astringencia resultan menos reconocidos que el sabor del cacao, lo que dificulta medir con precisión su intensidad sensorial; con frecuencia, su descripción tiende a ser más compleja. Por lo tanto, en base a esta afirmación se puede decir que el desconocimiento de la sensación de astringencia podría haber influido en los resultados de evaluación.

La astringencia en almendras secas se debe a las metilxantinas, como la teobromina y la cafeína, lo que confiere un sabor amargo y astringente, especialmente se manifiesta con mayor intensidad en la pasta y en el chocolate amargo debido a estas sustancias (Vera et al., 2014).

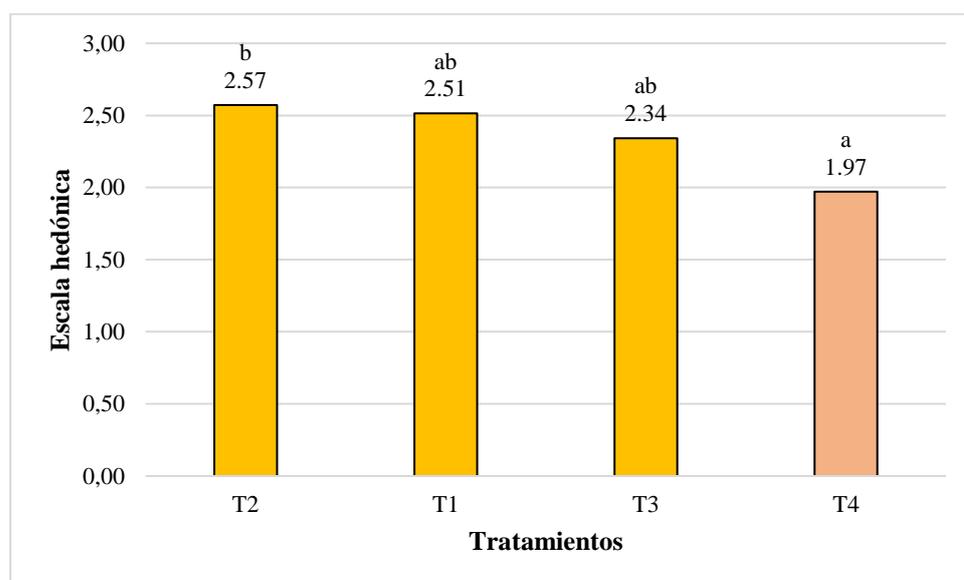
Álvarez et al., (2018) señalan que la astringencia es una sensación que está relacionada con el contenido de polifenoles o flavonoides de las almendras de cacao. De acuerdo con los resultados obtenidos de polifenoles en pasta de cacao, si corresponden al orden con respecto a la astringencia. Además, (Vallejo et al., 2018) indican que, durante el proceso de fermentación y secado, la oxidación enzimática conlleva una disminución en el contenido de polifenoles, lo que a su vez reduce el sabor amargo y la astringencia, por tal motivo los catadores no encontraron diferencias significativas en la variable astringencia. Cabe destacar que ninguno de los tratamientos se encuentra en los dos niveles más altos de la escala hedónica.

### 3.3.5 Aceptabilidad General

En la Figura 45, se muestra los resultados obtenidos de la evaluación para el parámetro aceptación general del producto, mediante la prueba de Friedman (Anexo 6), se determinó que existe diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ).

**Figura 45**

*Gráfica de Aceptabilidad General de Pasta de Cacao.*



1	Me disgusta mucho	2	Me disgusta moderadamente
3	Me gusta moderadamente	4	Me gusta mucho

La pasta de cacao al ser un alimento amargo generalmente no es del agrado de las personas e incluso rechazado en la mayoría de los casos, especialmente aquellos acostumbrados a sabores más dulces. Específicamente el T4 al presentar un nivel de amargor intenso, se correlaciona con una menor aceptabilidad por parte de los consumidores. Con base en McClure et al., (2022) existen excepciones conocidas al rechazo de alimentos amargos, como el café, la cerveza, el vino tinto y el chocolate amargo. Estas excepciones explican el puntaje bajo obtenido en la escala hedónica.

Harwood et al., (2013) en su estudio acerca de la tolerancia en chocolate negro mencionan que el amargor y la astringencia se han relacionado con una aceptación significativamente menor por parte de los consumidores, independientemente sus preferencias (p. ej., chocolate con leche). Esto tiene sentido, porque a los humanos generalmente no les gusta la amargura (Fischer et al., 2005). Además, la preferencia o aceptabilidad, según la percepción de los panelistas, se relaciona con la presencia reducida de acidez, amargor y astringencia en el licor o pasta de cacao (Nabia & Pazmiño, 2012).

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se determinó un mayor contenido de polifenoles y actividad antioxidante en los granos fermentados de la variedad CCN-51 con relación a la variedad Nacional.
- Se establecieron efectos altamente significativos de los factores como: variedad y método de secado sobre la disminución del contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de los granos de cacao.
- El tiempo tuvo mayor efecto con relación a los métodos de secado en la conservación de los polifenoles en las dos variedades. Sin embargo, la secadora conserva mayor cantidad de compuestos bioactivos.
- Se determinó que los atributos sensoriales de acidez y amargor presentaron diferencias significativas. Los resultados obtenidos en el T4 (Secadora y Variedad CCN-51) indican un rechazo por parte del panel evaluador hacia niveles elevados de amargor y acidez, lo que justifica la desaprobación general en relación con el sabor amargo.
- Los factores de secado de granos frescos de cacao tuvieron efectos altamente significativos sobre polifenoles, actividad antioxidante y atributos sensoriales. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

#### 4.2 Recomendaciones

- Evaluar los métodos de secado sobre la conservación de los compuestos bioactivos (actividad antioxidante y polifenoles totales) de los granos de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional de diferentes regiones del país.

- Se sugiere utilizar otros métodos de cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante para comparar resultados y analizar su comportamiento.
- Realizar un análisis sensorial con un panel entrenado para obtener una descripción detallada de la pasta de cacao.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adeyemi, S. A., Obayopo, S. O., & Akharume, F. (2020). Evaluation of Intermittent Solar Drying with Seasonal Variation on the Quality of Dried Cocoa Beans. *Journal of Food Science & Technology*, 5(1), 27–39. <https://doi.org/10.25177/JFST.5.1.RA.10612>
- Afoakwa, E., Kongor, J., Takrama, J., & Budu, A. (2013). Changes in nib acidification and biochemical composition during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20(4), 1843–1853.
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, F. S., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2012). Changes in total polyphenols, o-diphenols and anthocyanin concentrations during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 19(3), 1071–1077. <http://ugspace.ug.edu.gh/handle/123456789/26792>
- Agell, O. (2015). La Seguridad Alimentaria del Chocolate. *Observatori de Seguretat Alimentària*.
- AGROBIZ. (2020a). MANUAL DE COSECHA Y POSCOSECHA DE CACAO FINO Y DE AROMA. *Conservación y Gobernanza En El Piedemonte Amazónico*. [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00XDPC.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00XDPC.pdf)
- AGROBIZ. (2020b). *Manual de cosecha y poscosecha de cacao fino y de aroma*. [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00XDPC.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00XDPC.pdf)
- Alean, J., Chejne, F., Ramírez, S., Rincón, E., Alzate-Arbelaez, A. F., & Rojano, B. (2020). Proposal of a method to evaluate the in-situ oxidation of polyphenolic during the cocoa drying. *Drying Technology*. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1817933>
- Alean, J., Chejne, F., & Rojano, B. (2016). Degradation of polyphenols during the cocoa drying process. *Journal of Food Engineering*, 189, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.026>
- Alean, J., Maya, J. C., Chejne, F., Ramírez, S., Valdés, C. F., Marrugo, G., Alzate-Arbelaez, A. F., & Rojano, B. (2023). Release of phenolic compounds from fermented cocoa powder during fast heating in a novel hot plate reactor. *Food Research International*, 170, 112979. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112979>
- Álvarez, R., Portillo, E., Portillo, A., & Villasmil, R. (2018). Evaluación de las Propiedades Sensoriales del Licor de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Obtenido en Forma Artesanal e Industrial. *Revista Agrollanía*, 15, 1–6. <http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2018/ARTICULO1.pdf>

- Andrade, 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. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462>
- ANECACAO. (2015). *Cacao Nacional y Cacao CCN51*. <https://anecacao.com/index2022.html>
- ANECACAO. (2019). *Sector Exportador De Cacao*. <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemist, U. (1997). Official Methods of Analysis of AOAC International: Cacao Bean and Its Products. In *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (Gaithersburg, Vol. 22, pp. 1–17). <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.195>
- Arlorio, M., Locatelli, M., Travaglia, F., Coisson, J. D., Grosso, E. Del, Minassi, A., Appendino, G., & Martelli, A. (2008). Roasting impact on the contents of clovamide (N-caffeoyl-L-DOPA) and the antioxidant activity of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 106(3), 967–975. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.07.009>
- Arvelo, M. Á., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas* (IICA). [www.iica.int](http://www.iica.int)
- Avendaño, C. H., Campos, E., López, C. U., Martínez, M., Caballero, J. F., Báez, M., Ariza, R., & Cadena, J. (2021). Actividad antioxidante en genotipos de *Theobroma* spp. (Malvaceae) en México. *Revista de Biología Tropical*, 69(2). <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i2.41626>
- Barda, N. (2006). Análisis sensorial de los alimentos. *Fruticultura&Diversificación*, 34–37. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_revista-fd\\_48.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_revista-fd_48.pdf)
- Barrientos, L. D. P., Oquendo, J. D. T., Garzón, M. A. G., & Álvarez, O. L. M. (2019). Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia. *Food Research International*, 115, 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.084>
- Batista, N. N., de Andrade, D. P., Ramos, C. L., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2016). Antioxidant capacity of cocoa beans and chocolate assessed by FTIR. *Food Research International*, 90, 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.028>
- Becerra, L. D., Quintanilla-Carvajal, M. X., Escobar, S., & Ruiz, R. Y. (2023). Correlation between color parameters and bioactive compound content during cocoa seed transformation under controlled process conditions. *Food Bioscience*, 53, 102526. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102526>

- Beckett, S. T., & Royal Society of Chemistry (Great Britain). (2008). *The science of chocolate* (2nd ed.). RSC Publishing .
- Borja, J. G., Horta, H. B., Peñaloza, G. C., Sandoval, A. P., & Mendez, J. J. (2022). Antioxidant activity, total polyphenol content and methylxanthine ratio in four materials of *Theobroma cacao* L. from Tolima, Colombia. *Heliyon*, 8(5), e09402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09402>
- Burbano, R. (2020). *Evaluación de un sistema semiautomatizado para la fermentación de Theobroma cacao L. (nacional y súper árbol) en la amazonía norte ecuatoriana* [Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5843/1/Evaluaci%3%b3n%20de%20un%20sistema%20semiautomatizado%20para%20la%20fermentaci%3%b3n%20de%20theobroma%20cacao%20l.%20%28nacional%20y%20s%3%baper%20%3%a1rbol%29..pdf>
- CAOBISCO/ECA/FCC. (2015). *Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements*. (M. J. End & R. Dand, Eds.).
- Cardona, F. (2019). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones Apellidos, nombre. In *Universitat Politècnica de València*.
- Carrillo, L. C., Londoño-Londoño, J., & Gil, A. (2014). Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in *Theobroma cacao* beans from different cocoa-growing areas in Colombia. *Food Research International*, 60, 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.019>
- Castrillón, A. F., & Flores, F. M. (2016). *Diseño y construcción de un prototipo de máquina secadora de cacao para la empresa cacao 3h ubicada en el cantón Cumandá* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/12081/T-ESPE-053351.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2016, December). *Los desafíos Ecuador para el cambio estructural con inclusión social*. [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/40863/S1601309\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/40863/S1601309_es.pdf)
- Chávez-Salazar, Á., Cueva-Benavides, A., Muñoz-Delgado, V., Documet-Petrlík, K., & Vidaurre-Rojas, P. (2022). Beneficio del cacao clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1). <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.255>

- Chica, L. (2020). “*Diagnóstico de la situación actual del sector cacaotero en función de la asesoría técnica y el financiamiento en el recinto Concepción perteneciente al cantón Baba Provincia de Los Ríos.*” Universidad Técnica de Babahoyo.
- Chire, G. C., Verona, P. A., & Guzmán, J. H. (2016). Color changes during post harvest of peruvian cocoa beans from Piura. In *Ciencia e Investigación* (Vol. 19, Issue 1).
- Chire, G., Verona, P., & Guzmán, J. (2016). Cambios en el Color Durante el Beneficio del Grano de Cacao (*Theobroma Cacao L.*) Peruano Procedente de Piura . *Ciencia e Investigación*, 19(1), 29–34.
- Cortez, D., Quispe-Sanchez, L., Mestanza, M., Oliva-Cruz, M., Yoplac, I., Torres, C., & Chavez, S. G. (2023). Changes in bioactive compounds during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) harvested in Amazonas-Peru. *Current Research in Food Science*, 6, 100494. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2023.100494>
- Cortez, M. O. (2018). *Estandarización del proceso de obtención de licor de cacao en la fábrica de chocolates amazonas* [Universidad Tecnológica Equinoccial]. [https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16744/1/70204\\_1.pdf](https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16744/1/70204_1.pdf)
- Cros, E., Villeneuve, F., & Vincent, J.-C. (1982). Recherche d’un indice de fermentation du cacao. I. Evolution des tanins et des phénols totaux de la fève. *Café-Cacao-Thé*, 26(2), 109–114.
- Dang, Y. K. T., & Nguyen, H. V. H. (2019). Effects of Maturity at Harvest and Fermentation Conditions on Bioactive Compounds of Cocoa Beans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(1), 54–60. <https://doi.org/10.1007/S11130-018-0700-3/TABLES/2>
- Değirmencioğlu, N., Gürbüz, O., Herken, E. N., & Yildiz, A. Y. (2016). The impact of drying techniques on phenolic compound, total phenolic content and antioxidant capacity of oat flour tarhana. *Food Chemistry*, 194, 587–594. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.08.065>
- Deus, V. L., Cerqueira e Silva, M. B. de, Maciel, L. F., Miranda, L. C. R., Hirooka, E. Y., Soares, S. E., Ferreira, E. de S., & Bispo, E. da S. (2018). Influence of drying methods on cocoa (*Theobroma cacao L.*): antioxidant activity and presence of ochratoxin A. *Food Science and Technology*, 38(1), 278–285. <https://doi.org/10.1590/fst.09917>
- D’Souza, R. N., Grimbs, S., Behrends, B., Bernaert, H., Ullrich, M. S., & Kuhnert, N. (2017). Origin-based polyphenolic fingerprinting of *Theobroma cacao* in unfermented and fermented beans. *Food Research International*, 99, 550–559. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.007>

- Ekene, E., Oluka, I., & Patrick, I. (2022). Effects of Drying Temperature on the Drying Characteristics of Parboiled Palm Nuts. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 3(2), 338–356. <https://doi.org/10.46592/turkager.1173443>
- Equal Exchange Creative. (2018). *Guía para la Ficha de Catación para Análisis Sensorial de Cacao*.
- Espín, S., & Samaniego, I. (2016). *Manual para el análisis de parámetros químicos asociados a la calidad del cacao: Vol. (Manual no. 105)*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4072>
- Fischer, A., Gilad, Y., Man, O., & Pääbo, S. (2005). Evolution of Bitter Taste Receptors in Humans and Apes. *Molecular Biology and Evolution*, 22(4), 1156–1160. <https://doi.org/10.1093/molbev/msi131>
- Fito Maupoei, P., Andrés Grau, A. M., Barat Baviera, J. M., & Albors Soralla, A. M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial U.P.V.
- Fontana, A. J. (2008). Appendix D: Minimum Water Activity Limits for Growth of Microorganisms. *Water Activity in Foods*, 405–405. <https://doi.org/10.1002/9780470376454.APP4>
- Gil, M., Uribe, D., Gallego, V., Bedoya, C., & Arango-Varela, S. (2021). Traceability of polyphenols in cocoa during the postharvest and industrialization processes and their biological antioxidant potential. *Heliyon*, 7(8), e07738. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07738>
- González, Y., Pérez, E., & Palomino, C. (2012). Factores que Inciden en la Calidad Sensorial del Chocolate. *Revista Oficial de La Sociedad Argentina de Nutrición*, 13(4), 314–331.
- Gustavo, S., Terán, S., Alex, W., & Morán, M. (2021). Efecto del procesamiento de cacao negro en el contenido y actividad antioxidante de compuestos fenólicos. *ESPAMCIENCIA*, 12(1), 41–45. [https://doi.org/10.51260/REVISTA\\_ESPAMCIENCIA.V12I1.221](https://doi.org/10.51260/REVISTA_ESPAMCIENCIA.V12I1.221)
- Guzmán Duque, J. A., & Gómez Prada, S. L. (2014). Evaluación sensorial de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado en la región del sur del departamento de Bolívar (Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2). <http://oaji.net/articles/2017/5565-1508813663.pdf>
- Harwood, M., Ziegler, G., & Hayes, J. (2013). Tolerance for High Flavanol Cocoa Powder in Semisweet Chocolate. *Nutrients*, 5(6), 2258–2267. <https://doi.org/10.3390/nu5062258>
- Hashim, P., Selamat, J., Muhammad, K., & Ali, A. (1999). Effect of drying time, bean depth and temperature on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentrations of Malaysian cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(7), 987–994. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990515\)79:7<987::AID-JSFA314>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990515)79:7<987::AID-JSFA314>3.0.CO;2-H)

- Henriquez, C., Aliaga, C., & Lissi, E. (2002). Formation and decay of the ABTS derived radical cation: A comparison of different preparation procedures. *International Journal of Chemical Kinetics*, *34*(12), 659–665. <https://doi.org/10.1002/kin.10094>
- Herman, C., Spreutels, L., Turomzsa, N., Konagano, E. M., & Haut, B. (2018). Convective drying of fermented Amazonian cocoa beans (*Theobroma cacao* var. Forasteiro). Experiments and mathematical modeling. *Food and Bioprocess Processing*, *108*, 81–94. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2018.01.002>
- Hii, C. L., Law, C. L., & Suzannah, S. (2012). Drying kinetics of the individual layer of cocoa beans during heat pump drying. *Journal of Food Engineering*, *108*(2), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.017>
- Ibarz, A., & Barbosa-Canovas, G. V. (2014). *Introduction to Food Process Engineering* (CRC Press, Ed.; 1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b14969>
- INAMHI. (2020). *Servicio Meteorológico del Ecuador*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://inamhi.wixsite.com/inamhi/novedades>
- Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L. A., Cedeño-García, G., Sotomayor Cantos, I., & Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ*, *10*, e12676. <https://doi.org/10.7717/peerj.12676>
- Kothe, L., Zimmermann, B. F., & Galensa, R. (2013). Temperature influences epimerization and composition of flavanol monomers, dimers and trimers during cocoa bean roasting. *Food Chemistry*, *141*(4), 3656–3663. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.049>
- Kyi, T. M., Daud, W. R. W., Mohammad, A. B., Wahid Samsudin, Mohd., Kadhum, A. A. H., & Talib, M. Z. M. (2005). The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *International Journal of Food Science & Technology*, *40*(3), 323–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00959.x>
- MacManus, N., Ogunlowo, A. S., & Olukunle, O. J. (2010). Cocoa Bean (*Theobroma cacao* L.) Drying Kinetics. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *70*(4), 633–639. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000400014>
- Martini, M., Figueira, A., Lenci, C., & Tavares, D. (2008). *Polyphenolic cells and their interrelation with cotyledon cells in seven species of Theobroma (Sterculiaceae)*. *31*(3), 425–431.

- Mbakouop, A. N., Tchakounté, H., Ankungha, A. I., & Nzoundja Fapi, C. B. (2023). Experimental performance analysis of a mixed forced convection solar dryer: Application to cocoa bean drying. *Solar Energy*, 257, 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.04.010>
- Melo, T. S., Pires, T. C., Engelmann, J. V. P., Monteiro, A. L. O., Maciel, L. F., & Bispo, E. da S. (2021a). Evaluation of the content of bioactive compounds in cocoa beans during the fermentation process. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1947–1957. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04706-W/TABLES/5>
- Melo, T. S., Pires, T. C., Engelmann, J. V. P., Monteiro, A. L. O., Maciel, L. F., & Bispo, E. da S. (2021b). Evaluation of the content of bioactive compounds in cocoa beans during the fermentation process. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1947–1957. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04706-W/METRICS>
- Menezes, A. G. T., Batista, N. N., Ramos, C. L., Silva, A. R. de A. e, Efraim, P., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2016). Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties of cocoa ( *Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Research International*, 81, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.036>
- Mikołajczak, N., & Tańska, M. (2021). Relationships between cocoa mass percentage, surface color, free phenolic compounds content and antioxidant capacity of commercially available dark chocolate bars. *Journal of Food Science and Technology*, 58(11), 4245–4251. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04898-1/FIGURES/1>
- Morales, J. G. (2022). *Evaluación de los Parámetros Tiempo, Temperatura y Variedad en el Proceso de Tostado de Cacao Theobroma Cacao L. para la Obtención de Pasta*. Universidad Técnica del Norte.
- Muñoz, G. C. (2018). *Evaluación de la capacidad antioxidante en cacao Nacional fino de aroma (Theobroma cacao L.), de las principales zonas productoras del Ecuador* [Universidad Central del Ecuador ]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16722/1/T-UCE-0008-CQU-050.pdf>
- Nabia, A., & Pazmiño, N. (2012). *Mejoramiento de las Características Sensoriales del Cacao CCN51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Nascimento, M., Reolon, E., Santos, A., Moreira, V., Silva, I., & Silva, N. (2011). Enterobacteriaceae in processed cocoa products. *Inst Adolfo Lutz*, 70(1), 81–85.

[http://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/10/rial70\\_1\\_completa/1348.pdf](http://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/10/rial70_1_completa/1348.pdf)

- Nazario, O., Ordoñez, E., Mandujano, Y., & Arévalo, J. (2018). Polifenoles Totales, Antocianinas, Capacidad Antioxidante de Granos Secos y Analisis Sensorial del Licor de Cacao (Theobroma Cacao L.) Criollo y Siete Clones. *Investigación y Amazonía*, 3(1), 51–59.
- Nguyen, C.-H. (2013). *Quality of Vietnamese cocoa liquor and butter* [Universiteit Gent]. [https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/063/615/RUG01-002063615\\_2013\\_0001\\_AC.pdf](https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/063/615/RUG01-002063615_2013_0001_AC.pdf)
- NTE INEN 176. (2021). *Granos de cacao. Requisitos*.
- NTE INEN 623. (1988). Pasta (masa, licor) de cacao. Requisitos. In *Instituto Ecuatoriano de Normalización*.
- Omidí, B., Khoshbakhti, R., & Kheiri, R. (2022). Modeling and Thermodynamic Analysis of Municipal Solid Waste Dryer: A Parametric Study. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 41(8), 2848–2872.
- Oracz, J., Nebesny, E., Zyzelewicz, D., Budryn, G., & Luzak, B. (2020). Bioavailability and metabolism of selected cocoa bioactive compounds: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(12), 1947–1985. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1619160>
- Orna, J. E., Chuquín, N., Saquinga, L., & Cueva, O. (2018). Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg. *Enfoque UTE*, 9(2), 159–174. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V9N2.185>
- Otoikhian, K. S., & Amune, U. O. (2022). Comparative Analysis of the Drying Parameters of Theobroma cacao (Cocoa Beans) and Musa paradisiaca (Plantain). *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 71–87. <https://doi.org/10.9734/ajraf/2022/v8i430166>
- Pallares, A., Estupiñán, M. R., Perea, J. A., & López, L. J. (2016). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista ION*, 29(2), 7–21. <https://doi.org/10.18273/REVION.V29N2-2016001>
- Pallares, A., Perea, A., & López, L. (2016). Impacto de las condiciones de beneficio sobre los compuestos precursores de aroma en granos de cacao (Theobroma cacao L) del clon CCN-51. *Respuestas*, 21(1), 120–133.
- Pallares Pallares, A., Estupiñán A, M. R., Perea Villamil, J. A., & López Giraldo, L. J. (2017). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante

del clon de cacao CCN-51. *Revista ION*, 29(2), 7–21. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016001>

- Parra, P. (2014). Secado artificial de cacao. Estado del arte. In R. Ayala & J. Llerena (Eds.), *Primer Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad*. (pp. 211–238). Universidad Politécnica Salesiana.
- Parra, P. (2017). *Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente*. Universidad de Piura.
- Pedan, V., Weber, C., Do, T., Fischer, N., Reich, E., & Rohn, S. (2018). HPTLC fingerprint profile analysis of cocoa proanthocyanidins depending on origin and genotype. *Food Chemistry*, 267, 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.109>
- Peñaherrera, N. D. (2021). *Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24717/1/UCE-FCQ-CQA-PE%C3%91AHERRERA%20NANCY.pdf>
- Perea, J. A. (2019). *El cacao desde la ciencia: de la semilla al chocolate*. (UIS). <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/129274?page=20>
- Perea-Villamil, J. A., Cadena-Cala, T., & Herrera-Ardila, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. *Salud UIS*, 41, 128–134.
- Pérez, M. Á., & Contreras, J. D. (2017). *Guía de buenas prácticas de cosecha, fermentación y secado para la producción de cacaos especiales*.
- Piza, L. (2017). *Desarrollo del perfil sensorial del licor de cacao elaborado a base de cacao producido en la Zona Huetar Atlántica y Huetar Norte*. Universidad de Costa Rica.
- Plaza, M., Oliveira, D., Nilsson, A., & Turner, C. (2017). Green and Efficient Extraction Method to Determine Polyphenols in Cocoa and Cocoa Products. *Food Analytical Methods*, 10(8), 2677–2691. <https://doi.org/10.1007/S12161-017-0830-5/FIGURES/5>
- Poveda, C., & Simbaña, S. (2018). *Estudio Numérico y Experimental de Caudales Óptimos para Secado de Grano de Cacao*. Escuela Politécnica Nacional.
- Puello, J., Meza, P., Cortés, L., Bossa, L., Sanjuan, E., Lambis, H., & Villamizar, L. (2017). Comparative Study of Solar Drying of Cocoa Beans: Two Methods Used in Colombian Rural Areas. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1711–1716. <https://doi.org/10.3303/CET1757286>

- Quintana, L. F., & García, A. (2021). *Evaluación integral de la calidad sensorial del cacao* (Sello Editorial UNAD). Grupo Investigación Agroalimentaria de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (GIAUNAD).
- Quiroz, C. N., & Fogliano, V. (2018). Design cocoa processing towards healthy cocoa products: The role of phenolics and melanoidins. *Journal of Functional Foods*, *45*, 480–490. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.031>
- Rabha, D. K., Muthukumar, P., & Somayaji, C. (2017). Experimental investigation of thin layer drying kinetics of ghost chilli pepper (*Capsicum Chinense* Jacq.) dried in a forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, *105*, 583–589. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.091>
- Raharja, S., Rahardjo, Y. P., Samsudin, & Syamsu, K. (2023). Aroma precursor enhancing in dried cocoa beans fermentation using enzyme and heat addition. *AIMS Agriculture and Food*, *8*(2), 674–686. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2023037>
- Ramos, G., González, N., Zambrano, A., & Gómez, Á. (2013). Olores y sabores de cacaos (*Theobroma cacao* L.) venezolanos obtenidos usando un panel de catación entrenado. *UDO Agrícola*, *13*(1), 114–127.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1998). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, *26*(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Rettig, M., & Hen, A. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, *42*(2), 57–66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Rottiers, H., Tzompa Sosa, D. A., Lemarcq, V., De Winne, A., De Wever, J., Everaert, H., Bonilla Jaime, J. A., Dewettinck, K., & Messens, K. (2019). A multipronged flavor comparison of Ecuadorian CCN51 and Nacional cocoa cultivars. *European Food Research and Technology*, *245*(11), 2459–2478. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03364-3>
- Samaniego, I., Espín, S., Quiroz, J., Ortiz, B., Carrillo, W., García-Viguera, C., & Mena, P. (2020). Effect of the growing area on the methylxanthines and flavan-3-ols content in cocoa beans from Ecuador. *Journal of Food Composition and Analysis*, *88*, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103448>
- Sánchez, Á., Naranjo, J., Córdova, V., Ávalos, D., & Zaldívar, J. (2016). Caracterización bromatológica de los productos derivados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Chontalpa,

- Tabasco, México. *Scielo*, 14, 2817–2830.  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7nspe14/2007-0934-remexca-7-spe14-2817-en.pdf>
- Sánchez, E. N. (2017). Efecto de tipos de secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 en la preservación de polifenoles totales y antocianinas. In *Repositorio - UNSM*. Universidad Nacional de San Martín.
- Santhanam, A., Hii, C. L., Law, C. L., Shariff, S., & Djaeni, M. (2017). Effects of drying on the production of polyphenol-rich cocoa beans. *Drying Technology*, 35(15).  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1276072>
- Schwan, R. F., & Fleet, G. H. (2015). *Cocoa and Coffee Fermentations* (R. F. Schwan & G. H. Fleet, Eds.; CRC Press). Taylor & Francis Group, LLC.
- Singh, P., & Heldman, D. (2014a). *Introduction to Food Engineering* (5th ed.). Academic Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2011-0-06101-X>
- Singh, P., & Heldman, D. (2014b). Psychrometrics. In *Introduction to Food Engineering* (Fifth Edition, pp. 593–616). Academic Press.
- SIPA. (2021). *Información productiva territorial*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.  
<http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Solórzano, E., Amores, F., Jiménez, J., Nicklin, C., & Barzola, S. (2015). Comparación sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador. *Ciencias y Tecnología*, 8(1), 37–47.
- Teh, Q. T. M., Tan, G. L. Y., Loo, S. M., Azhar, F. Z., Menon, A. S., & Hii, C. L. (2016). The Drying Kinetics and Polyphenol Degradation of Cocoa Beans. *Journal of Food Process Engineering*, 39(5), 484–491. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12239>
- Tello, S., Avendaño, C., Vásquez, M., & López, M. (2020). Contenido de compuestos bioactivos en *Theobroma cacao* L. (seco y fermentado) de la región del Soconusco, Chiapas. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 584–589.
- Tolentino, M. E., Camasca, P., & Peláez, P. P. (2019). Macro and microelements, lead, cadmium, functional compounds, antioxidant capacity in fresh, dry cocoa beans and cocoa paste. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 521–530. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.09>
- Torres, D. (2021). *Evaluación del contenido de antioxidantes de cacao (Theobroma cacao L.) durante su procesamiento en 3 épocas del año*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

- Umaharan, P. (2018). Achieving sustainable cultivation of cocoa. In *Achieving sustainable cultivation of cocoa* (1st Edition). Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.1201/9781351114547>
- Urbańska, B., Derewiaka, D., Lenart, A., & Kowalska, J. (2019). Changes in the composition and content of polyphenols in chocolate resulting from pre-treatment method of cocoa beans and technological process. *European Food Research and Technology* 2019 245:10, 245(10), 2101–2112. <https://doi.org/10.1007/S00217-019-03333-W>
- Urbańska, B., & Kowalska, J. (2019). Comparison of the Total Polyphenol Content and Antioxidant Activity of Chocolate Obtained from Roasted and Unroasted Cocoa Beans from Different Regions of the World. *Antioxidants (Basel)*, 8(8), 283. <https://doi.org/10.3390/antiox8080283>
- Vallejo, C., Loayza, G., Morales, W., & Vera, J. (2018). Perfil Sensorial de Genotipos de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) en la Parroquia Valle Hermoso-Ecuador. *ESPAMCIENCIA*, 9(2), 103–113.
- Vassallo, M. (2017). Diferenciación y agregado de valor en la cadena ecuatoriana del cacao. *Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía, 1*. [http://www.fagro.edu.uy/images/stories/DptoCCSS/doc/Diferenciaci%C3%B3n\\_y\\_valor\\_agregado\\_en\\_la\\_cadena\\_ecuatoriana\\_del\\_cacao.pdf](http://www.fagro.edu.uy/images/stories/DptoCCSS/doc/Diferenciaci%C3%B3n_y_valor_agregado_en_la_cadena_ecuatoriana_del_cacao.pdf)
- Vázquez, A., Ovando, I., Adriano, L., Betancur, D., & Salvador, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3). <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/3/art-10/>
- Velásquez-Reyes, D., Rodríguez-Campos, J., Avendaño-Arrazate, C., Gschaedler, A., Alcázar-Valle, M., & Lugo-Cervantes, E. (2023). Forastero and Criollo cocoa beans, differences on the profile of volatile and non-volatile compounds in the process from fermentation to liquor. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15129>
- Vera, J., Vallejo, C., Párraga, D., Morales, W., Macías, J., & Ramos, R. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34.
- Vera, R. J., & Baque, R. E. (2015). *Diagnóstico y propuesta de implementación de buenas prácticas de manufactura para una empresa chocolatera enfocada a su subproducto licor de cacao*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Vertuani, S., Scalambra, E., Vittorio, T., Bino, A., Malisardi, G., Baldisserotto, A., & Manfredini, S. (2014). Evaluation of Antiradical Activity of Different Cocoa and Chocolate Products: Relation with Lipid and Protein Composition. *Journal of Medicinal Food*, *17*(4), 512–516. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0110>
- Żyżelewicz, D., Budryn, G., Oracz, J., Antolak, H., Kręgiel, D., & Kaczmarska, M. (2018). The effect on bioactive components and characteristics of chocolate by functionalization with raw cocoa beans. *Food Research International*, *113*, 234–244. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.07.017>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Prueba de Kruskal Wallis

##### ➤ Compuestos Fenólicos

Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
T1	3	45.72	1.99	44.92	9.46	0.0237
T2	3	46.87	2.09	46.69		
T3	3	52.00	0.87	51.76		
T4	3	82.97	4.27	80.73		

##### ➤ Factores (Método de Secado y Variedad de Cacao) en el Contenido de Compuestos

###### Fenólicos

Factores		Medias	D.E.	Medianas	H	p	Significancia
Marquesina	A1	46.30	1.93	45.81	8.31	0.0022	*
Secadora	A2	67.49	17.18	66.63			
Rotatoria							
CCN-51	B2	64.92	20.00	64.67	0.92	0.3939	ns
Nacional	B1	48.86	3.71	49.64			

Nota. \*Significativo. \*\*Altamente Significativo. ns: No significativo

##### ➤ Capacidad Antioxidante

Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
T1	3	457.31	29.29	466.94	10.38	0.0156
T2	3	589.08	6.06	589.78		
T3	3	531.45	8.42	529.05		
T4	3	966.80	21.35	978.31		

##### ➤ Factores (Método de Secado y Variedad de Cacao) en el Contenido de Capacidad

###### Antioxidante.

Factores		Medias	D.E.	Medianas	H	p	Significancia
Marquesina	A1	523.20	74.61	531.64	2.08	0.0017	*
Secadora	A2	749.13	238.89	741.49			
CCN-51	B2	777.94	207.36	768.46	8.31	0.0022	*
Nacional	B1	494.38	44.95	502.54			

Nota. \*Significativo. \*\*Altamente Significativo. ns: No significativo

## Anexo 2

### Análisis de Varianza

#### ➤ Humedad.

Fuentes de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	p-valor	Sign
Tratamientos	3	0.31	0.1	0.85	0.5058	ns
Método de Secado	1	0.26	0.26	2.13	0.1824	ns
Variedad de Cacao	1	0	0	0	>0.9999	ns
Método de Secado*Variedad	1	0.05	0.05	0.41	0.5402	ns
Error	8	0.99	0.12			
Total	11	1.31				

Nota. \*Significativo. \*\*Altamente Significativo. ns: No significativo

#### ➤ Actividad de agua.

Fuentes de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Sign
Tratamientos	3	2.70E-04	8.90E-05	1.33	0.33	ns
Método de Secado	1	1.30E-04	1.30E-04	2	0.195	ns
Variedad de Cacao	1	1.30E-04	1.30E-04	2	0.195	ns
Método*Variedad	1	0.00E+00	0.00E+00	0	>0.9999	ns
Error	8	5.30E-04	6.70E-05			
Total	11	8.00E-04				

Nota. \*Significativo. \*\*Altamente Significativo. ns: No significativo

#### ➤ Colorimetría

Fuentes de Variación	GL	L*	a*	b*	H	C
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
Tratamientos	3	0.6468ns	0.8740ns	0.088ns	0.8387ns	0.1413ns
Método de Secado	1	0.3102ns	0.7878ns	0.0163*	0.6756ns	0.0275*
Variedad de Cacao	1	0.6873ns	0.8265ns	0.7840ns	0.8138ns	0.8917ns
Método*Variedad	1	0.5549ns	0.4769ns	0.7840ns	0.4640ns	0.9380ns
Error	8					
Total	11					
CV %		1.81	53.72	2.09	4.13	2.25

Nota. \*Significativo. \*\*Altamente Significativo. ns: No significativo

### Anexo 3

#### Prueba de Rangos

##### ➤ Compuestos Fenólicos

Tratamientos	Medias	Grupos	
T1	45.72	a	
T2	46.87	a	
T3	52.00	a	b
T4	82.97		b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

##### ➤ Capacidad Antioxidante

Tratamiento	Medias	Grupos		
T1	457.31	a		
T3	531.45	a	b	
T2	589.08		b	c
T4	966.80			c

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Anexo 4

#### Prueba DMS

##### ➤ Interacción Método de Secado\*Variedad en Compuestos Fenólicos

Método de Secado	Variedad	Medias	Grupos	
Marquesina	Nacional	45.72	a	
Marquesina	CCN-51	46.87	a	
Secadora Rotatoria	Nacional	52.00	a	
Secadora Rotatoria	CCN-51	82.97		b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

##### ➤ Factor A (Método de Secado) en Compuestos Fenólicos

Factor		Medias	Grupos	
Marquesina	A1	46.30	a	
Secadora Rotatoria	A2	67.49		b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

➤ Interacción Método de Secado\*Variedad en Capacidad Antioxidante

Método de Secado	Variedad	Medias	Grupos
Marquesina	Nacional	457.31	a
Secadora Rotatoria	Nacional	531.45	b
Marquesina	CCN-51	589.08	c
Secadora Rotatoria	CCN-51	966.80	d

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

➤ Factor A (Método de Secado) en Capacidad Antioxidante

Factor	Medias	Grupos
Marquesina	523.20	a
Secadora Rotatoria	749.13	b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

➤ Factor B (Variedad de Cacao) en Capacidad Antioxidante

Factor	Medias	Grupos
Nacional	494.38	a
CCN-51	777.94	b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 5

### Prueba de Tukey al 5%

➤ Humedad

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación
T1	3.59	3	0.20	a
T2	3.72	3	0.20	a
T4	3.88	3	0.20	a
T3	4.01	3	0.20	a

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

➤ Actividad de Agua

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación
T4	0.39	3	0.01	a
T3	0.40	3	0.01	a
T1	0.41	3	0.01	a
T2	0.42	3	0.01	a

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 6

### Prueba de Friedman

#### ➤ Aroma

Tratamientos	Suma	Medias	Rangos	p-valor
T3	110	3.14	a	0.1801
T2	114	3.26	a	
T4	118	3.37	a	
T1	127	3.63	a	

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### ➤ Acidez

Tratamientos	Suma	Medias	Rangos	p-valor	
T3	78	2.23	a	0.0012	
T1	85	2.43	a		b
T2	90	2.57	a		b
T4	107	3.06			b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### ➤ Amargor

Tratamientos	Suma	Medias	Rangos	p-valor	
T3	112	3.20	a	0.0001	
T1	126	3.60	a		b
T2	132	3.77	a		b
T4	147	4.20			b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### ➤ Astringencia

Tratamientos	Suma	Medias	Rangos	p-valor
T1	89	2.54	a	0.0771
T2	91	2.60	a	
T3	100	2.86	a	
T4	116	3.31	a	

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### ➤ Aceptabilidad General

Tratamientos	Suma	Medias	Rangos	p-valor	
T4	69	1.97	a	0.0375	
T3	82	2.34	a		b
T1	88	2.51	a		b
T2	90	2.57			b

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## **Anexo 7**

Preparación de la Muestra para analizar Compuestos Fenólicos y Capacidad Antioxidante

### **Principio del Método**

Mediante proceso de descascarillado, molienda, tamizaje y desengrasado se obtiene la matriz adecuada, reducida a un tamaño de partícula que asegure homogenización para el análisis en el laboratorio.

### **Campo de Aplicación**

Este procedimiento se aplica a muestras de almendras, licor y polvo de cacao, para el análisis de parámetros químicos.

### **❖ Descascarillado y Molienda**

#### **Equipos y Materiales**

- Molino Retsch ZM-200
- Tamiz de malla proporcional
- Bisturí
- Brochas
- Recipientes plásticos para almacenamiento de muestras
- Marcador permanente
- Cinta adhesiva para rotulado
- Congelador

#### **Procedimiento**

- a. Remover manualmente la cascarilla que protege las almendras de cacao, utilizando un bisturí. Se puede también emplear un equipo descascarillador que facilite este proceso.
- b. Tomar un frasco de plástico limpio y rotular con el código de laboratorio correspondiente a la muestra.

- c. Pasar las almendras peladas al recipiente de plástico rotulado, tapar y poner en el congelador.
- d. Pasar las almendras congeladas al molino; moler por 2 minutos aproximadamente.
- e. Pasar el polvo de cacao obtenido de la molienda al equipo de agitación automático para tamizar y separar partículas de 0.38 y 0.149 mm.
- f. Recolectar en un frasco de plástico el polvo de cacao tamizado con el tamaño de partícula requerido. El residuo que no pasa por el tamiz vuelva a moler siguiendo los pasos c, d y e, hasta finalizar toda la muestra.
- g. Cerrar herméticamente el frasco que contiene la muestra molida y tamizada, colocar en el congelador a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en caso de no procesar inmediatamente las muestras.

#### ❖ **Desengrasado de la Muestra por el Método Soxhlet**

##### **Reactivos**

- Agua destilada
- Éter de petróleo p.a. (rango de ebullición de 40 a 60 °C)

##### **Equipos y Materiales**

- Equipo Extractor Soxhlet de capacidad 250 ml, con uniones esmeriladas
- Algodón libre de grasa
- Papel filtro de 16 cm de diámetro
- Dedal de extracción de celulosa de 33 mm x 88 mm libre de grasa
- Balones de 250 ml con uniones esmeriladas
- Balanza de precisión
- Equipo de calentamiento

##### **Procedimiento**

Se parte de la muestra molida y tamizada, aplicando el siguiente procedimiento:

- a. Doblar el papel filtro de 16 cm formando un sobre e introducir en el dedal de extracción.

- b. Pesar 1 gramo de polvo de cacao y transferir al dedal de extracción.
- c. Cerrar el sobre de papel filtro, cubrir el dedal de extracción con algodón y colocar dentro del extractor Soxhlet de capacidad 250 ml.
- d. Medir en una probeta graduada 180 ml de Éter de Petróleo y transferir al balón de destilación.
- e. Unir el Soxhlet con el balón de destilación y conectar al refrigerante.
- f. Colocar el equipo completo sobre el dispositivo de calentamiento, abrir el paso de agua para el refrigerante y extraer por ocho horas.
- g. Dejar reposar el dedal de extracción por lo menos durante 24 horas.
- h. Transferir el polvo desengrasado en viales de vidrio provistos de tapa rosca hermética y almacenar a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , si en caso los análisis no se realizan de manera inmediata.

## **Anexo 8**

Determinación de compuestos fenólicos o polifenoles totales

### **Principio del Método**

Los Polifenoles Totales son extraídos con una solución acuosa de metanol al 70%, mediante agitación magnética continua por 45 minutos, el extracto obtenido se filtra, se toma una alícuota del mismo y se realiza una reacción colorimétrica con el reactivo de Folin & Ciocalteu obteniendo una coloración azul, la misma que es cuantificada en un Espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de Onda de 760 nm (Cros et al., 1982).

### **Reactivos**

- Metanol grado reactivo al 99.5%
- Ácido Gálico Monohidratado, Sigma G 8647
- Reactivo de Folin & Ciocalteu, Merck 1.090011.0500
- Carbonato de Sodio 99.5%, Fluka 71350

- Agua destilada

### Preparación de Reactivos

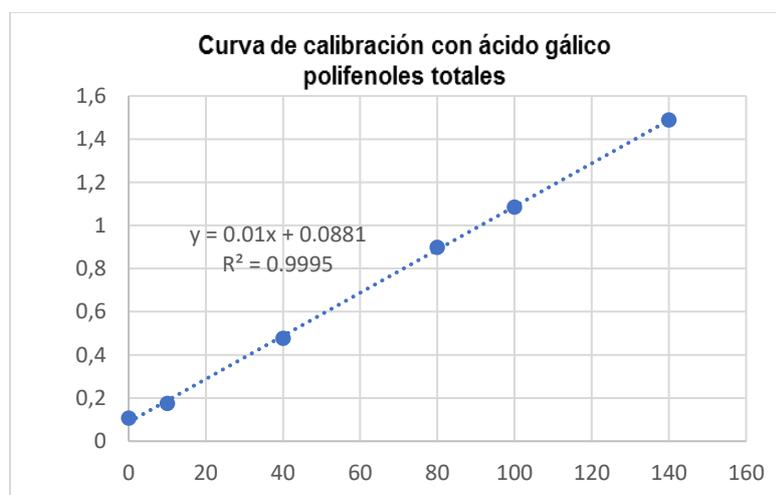
- *Solución Carbonato de Sodio al 20%*: Transferir cuantitativamente 20 g de Carbonato de Sodio en un balón volumétrico de 100 ml disolver y completar a volumen con agua bidestilada.
- *Solución Acuosa de Metanol*: Transferir cuantitativamente 700 ml de metanol en un balón volumétrico de 100 ml completar a volumen con agua bidestilada. (densidad de la solución 0.872 g/ml)
- *Solución Estándar Primario de Ácido Gálico (200ppm)*: Transferir cuantitativamente 0.020 g de ácido gálico en un balón volumétrico de 100 ml, disolver y aforar con agua destilada.

### Soluciones estándar para curva de calibración

A partir de la solución estándar primaria de 200 ppm se realiza la curva de calibración diluyendo el estándar en cinco concentraciones: 0, 10, 40, 80, 100 y 140 ppm.

### Figura 46

*Curva de calibración con ácido gálico – Polifenoles totales*



### Equipos y Materiales

- Papel filtro Whatman N°4
- Balones volumétricos de 100 ml
- Balanza analítica de precisión 0.1 mg Shimadzu, Modelo LIBROR AEG-220
- Plancha magnética HP 15R 011032202
- Pipetas volumétricas de 5 y 10 ml
- Embudos de vidrio para filtración 12 cm de diámetro
- Espectrofotómetro UV-VIS Shimadzu
- Agitadores magnéticos
- Tubos de ensayo capacidad de 15 ml
- Micropipeta automática de 100 a 1000  $\mu$ L

### **Procedimiento**

- a) En un erlenmeyer de 125 ml pesar 1 g de muestra.
- b) Adicionar 75 ml de solución acuosa de metanol al 70% y colocar un agitador magnético.
- c) Conducir la muestra a la plancha de agitación y agitar por 45 minutos a temperatura ambiente.
- d) Filtrar el extracto a través de papel Whatman N°4 en un balón volumétrico de 100 ml, lavar el filtrado y aforar con solución acuosa de metanol al 70%.

### **Cuantificación en el Espectrofotómetro UV-VIS**

- a) En un tubo de ensayo colocar 1ml del extracto, añadir 6ml de agua destilada y 1 ml de reactivo de Folin & Ciocalteu, luego de tres minutos añadir 2 ml de la solución de carbonato de sodio al 20%, inmediatamente agitar en un vortex y calentar en baño maría a 40 °C por dos minutos (Este procedimiento se realiza tanto para las muestras como para los estándares).
- b) Pasar la solución a una cubeta de vidrio y cuantificar en el Espectrofotómetro UV-VIS bajo las siguientes condiciones:

- a. Longitud de Onda: 760 nm.
- b. Temperatura: ambiente
- c. Slit: 0.2 nm

Realizar el mismo procedimiento para cada concentración.

### **Cálculos y expresión de los resultados**

La cuantificación se realizó utilizando una curva de calibración realizada previamente en el equipo y utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg}}{\text{g}} \text{ÁcidoGálico} = \frac{a*b*d*f}{p} \quad (6)$$

Donde:

a = Concentración de ácido gálico obtenida a partir de la curva de calibración (mg/g)

b = Volumen total de extracto (100 ml)

d = Factor de dilución

f = Factor para transformar unidades (f = 0.001)

p = peso de la muestra g.

### **Anexo 9**

Determinación de la capacidad antioxidantes por el método de decoloración del catión radical ABTS<sup>•+</sup>

#### **Principio del método**

Es un método indirecto que permite medir la habilidad del antioxidante para estabilizar el catión radical ABTS<sup>•+</sup> <sup>transf</sup>. Dicha estabilización provoca disminución de la absorbancia del catión radical. El radical catión ABTS<sup>•+</sup> una vez generado por medio de enzimas (peroxidasa, mioglobina) o químicamente (dióxido de manganeso, persulfato potásico), presenta

características con máximos de absorción a 414, 645, 735 y 815 nm (Henriquez et al., 2002), el que frente a un agente antioxidante dador de electrones, se reduce provocando la decoloración de la disolución del radical y que es determinado espectrofotométricamente (Re et al., 1998).

### Equipos y Materiales

- Balanza analítica
- Baño ultrasónico
- Espectrofotómetro
- Tubos de ensayo de 10 ml
- Micropipetas 1000  $\mu\text{L}$  y 50  $\mu\text{L}$
- Puntas para micropipetas
- Papel parafilm, papel aluminio y papel toalla
- Balones de aforo 25 ml
- Vasos de precipitación
- Papel Whatman 0.45
- Frascos ámbar
- Probetas

### Reactivos

- Trolox: 6-hidroxy-2,5,7,8 -tetramethylcroman-2-carboxylic acid (Sigma....)
- ABTSA (3-ethylbenzoathiazoline-6-sulfonic acid) diammonium sal
- Persulfato de Potasio  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$
- Fosfato de sodio monobásico  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  grado reactivo
- Fosfato de sodio dibásico  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$  grado reactivo

### Preparación de reactivos

- **Solución amortiguadora de fosfatos 75 mmol/L (pH=7.00)**
  - **Solución A (0.2 mol/L):** Pesar 1.037 g de fosfato de sodio monobásico y llevar a 100 ml de agua destilada en un balón aforado.
  - **Solución B (0.02 mol/L):** Pesar 5.33 g de fosfato de sodio dibásico y llevar a 500 ml con agua destilada en un balón de aforo.

Mezclar 95 ml de solución A con 405 ml de la solución B, llevar a 900 ml con agua destilada y medir el pH. Ajustar el pH con las soluciones A o B sobrantes de acuerdo con lo necesario hasta alcanzar un valor de  $\text{pH} = 7.0$  y llevar a 1 L en el balón aforado. Envasar la disolución en una botella y almacenar a  $4^{\circ}\text{C}$  por un periodo máximo de un mes.

- **Solución Stock de ABTS**

- **Solución de ABTS (7mM):** Pesar 0.0960 g de ABTS (548.68 g/mol), disolver en agua ultrapura completamente y aforar a un volumen de 25 ml. Almacenar a temperatura de refrigeración  $4^{\circ}\text{C}$ . La solución dura un mes a estas condiciones.

- **Solución de Persulfato  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  (2.45mM):** Pesar 0.01655 g de  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , disolver en agua ultrapura y aforar a 25 ml. Conservar la solución en refrigeración  $4^{\circ}\text{C}$ .

- **Solución Activada de ABTS. +**

Mezclar en proporción 1:1 la solución ABTS (7 mM) con la de  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  (2.45 mM) y dejar reposando durante 16 horas antes de su uso. Filtrar la solución por un papel filtro watman 0.4 y envasar en un frasco ámbar. La solución se mantiene estable 24 h, por lo que se recomienda realizarla el día del análisis.

- **Solución de trabajo ABTS. +**

En un frasco ámbar diluir la solución activada de ABTS. + con un buffer fosfato hasta obtener una lectura de absorbancia de  $1.1 \pm 0.01$  a una longitud de onda de 734 nm.

- **Preparación de la curva de calibración:**

- **Solución madre de Trolox (2000  $\mu\text{mol/L}$ ):** Pesar 0.050 g de Trolox (PM 250.32 g), adicionar de 15 a 20 gotas de etanol al 95% para disolver todos los cristales y llevar a 100 ml con la solución amortiguadora en un balón aforado ámbar. La preparación y

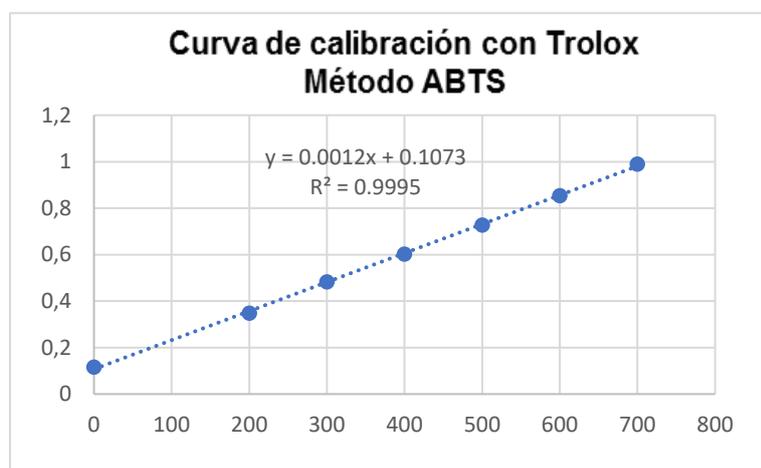
manipulación del Trolox se realiza en obscuridad o con la ayuda de luz amarilla para evitar su degradación. Envasar la dilución en una botella ámbar.

NOTA: Solo preparar para usar el día del análisis y luego descartarlo.

- **Curva de calibración (0-800  $\mu\text{mol/L}$ ).** - Preparar la solución patrón con Trolox, en concentraciones de 0, 200, 300, 400, 500, 600 y 700  $\mu\text{MTrolox}$  y un blanco, como se detalla en la Figura 44.

**Figura 47**

*Curva de calibración con Trolox – Capacidad Antioxidante -*



- **Determinación de la Capacidad Antioxidante**

1. Transferir a un tubo de vidrio un volumen de 200  $\mu\text{L}$  de muestra debidamente diluida con buffer fosfato con pH 7 y adicionar 3800  $\mu\text{L}$  de la solución de trabajo de ABTS.+ ( $A_{734} = 1.1 + 0.001$ ) estabilizada y proceder agitar en vortex durante 30 segundos.
2. Agitar los tubos y dejar reposar por un tiempo de 45 minutos en un lugar oscuro.
3. Medir la absorbancia final de cada muestra por triplicado a una longitud de onda de 734 nm.
4. Para la curva de calibración se calcula la absorbancia neta como se indica en la ecuación y se grafica en función de la concentración.

Determinación de la Absorbancia Neta:

$$\text{ABS}_{\text{muestra y/o patron trolox}} = \text{ABS}_{\text{solución de trabajo inicial}} - \text{ABS}_{\text{muestra 45 min}} - \text{ABS}_{\text{blanco}}$$

El valor obtenido interpolar en la curva de calibración. Expresar los resultados en  $\mu\text{MTrolox/mL}$  o  $\mu\text{MTrolox/g}$  muestra.

## **Anexo 10**

Determinación De Humedad (Método INIAP MO-LSAIA-01.01)

### **Principio del método**

La humedad contenida en las almendras y nibs de cacao, se determina por diferencia de pesos de las muestras luego de ser sometidas a un proceso de secado en una estufa de aire forzado a 105 °C por 12 horas.

### **Campo de Aplicación**

Este método es aplicable para polvos de almendras de cacao secas, fermentadas, no fermentadas y licor de cacao.

### **Equipo y material**

- Estufa
- Balanza analítica digital precisión 0.1 mg
- Recipientes de aluminio para secar muestras
- Pinza metálica
- Desecador

### **Procedimiento**

- a. Pesar 2 gramos de polvo de cacao y colocar en latas de aluminio previamente taradas.

- b. Colocar en la estufa a 105 °C durante 12 horas (o por una noche).
- c. Enfriar en un desecador y pesar la muestra seca.

### Cálculos

El cálculo de resultados se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \left( \frac{(P_2 - P_1) - (P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \right) * 100 * \quad (7)$$

Donde:

$P_1$  = Peso de la lata vacía (g)

$P_2$  = Peso de la lata con la muestra fresca (g)

$P_3$  = Peso de la lata con la muestra seca (g)

(A.O.A.C. 1997) Adaptada por (Espín & Samaniego, 2016).

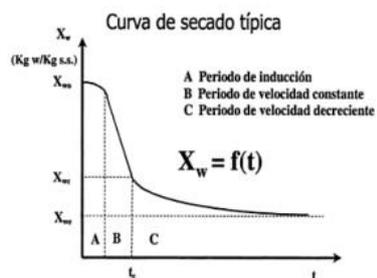
### Anexo 11

#### Curva de Secado

El libro de Fito Maupoei et al.,(2001) titulado: Introducción al secado de alimentos, argumenta que en un experimento de secado, manteniendo constantes todas las variables del proceso de secado y obteniendo periódicamente el valor de humedad del sólido, se puede graficar la variación de humedad  $X_w$  en función del tiempo, obteniéndose la curva se secado (Figura 45).

### Figura 48

#### Curva de Secado



Fuente: (Fito Maupoei et al.,2001)

En el caso de la marquesina se pesó los cajones de secado vacíos y posteriormente con los granos de cacao, esto con el fin de obtener los datos para las curvas de secado, seguidamente se registró la pérdida de peso de la muestra durante el tiempo de proceso mediante un sistema de adquisición de datos, esto se lo realizó cada día hasta llegar a una humedad del 7% la cual fue calculada con el Medidor de Humedad HE 50. Por otra parte, en la secadora automática se pesó los granos de cacao al inicio y al final del secado hasta que el grano tenga una humedad del 7%, esto con el fin de calcular la pérdida de peso de la muestra.

## Anexo 12

Cálculo de Velocidad de Secado

$$R = \frac{S \Delta x}{A \Delta t} \quad (8)$$

Donde:

R=Velocidad de secado (kg/m<sup>2</sup>·h)

S = Masa del sólido seco (kg)

A = Área de la superficie expuesta (m<sup>2</sup>)

x= Variación de humedad (kg)

t= Variación del tiempo (h)

## Anexo 13

Determinación del área de secado

### Área total

Marquesina

$$At = 2AB + AL$$

$$At = 2(2500 \text{ cm}^2) + 3000 \text{ cm}^2$$

Secadora Rotatoria

$$At = 2AB + AL$$

$$At = 2(31400 \text{ cm}^2) + 62800 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 8000 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 80 \text{ m}^2$$

$$A_t = 125600 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 1256 \text{ m}^2$$

### Área lateral

Marquesina

$$AL = 2h(L+L)$$

$$AL = 2(15 \text{ cm})(50 \text{ cm} + 50 \text{ cm})$$

$$AL = 3000 \text{ cm}^2$$

Secadora Rotatoria

$$AL = 2\pi rh$$

$$AL = 2(3.14)(100 \text{ cm})(100 \text{ cm})$$

$$AL = 62800 \text{ cm}^2$$

### Área de la base

Marquesina

$$AB = L^2$$

$$AB = (50 \text{ cm})^2$$

$$AB = 2500 \text{ cm}^2$$

Secadora Rotatoria

$$AB = \pi r^2$$

$$AB = (3.14)(100 \text{ cm})^2$$

$$AB = 31400 \text{ cm}^2$$

### Volumen

Marquesina

$$V = L^2 x h$$

$$V = (50 \text{ cm})^2 x 15 \text{ cm}$$

$$V = 37500 \text{ cm}^3$$

$$V = 375 \text{ m}^3$$

Secadora Rotatoria

$$V = AB(h)$$

$$V = (31400 \text{ cm}^2)(100 \text{ cm})$$

$$V = 31400 \text{ m}^3$$

## **Anexo 14**

Comportamiento de humedad y velocidad de secado

➤ T1 (Marquesina – Variedad Nacional)

Tiempo (horas)	Peso (kg)	Humedad	Humedad media	Velocidad de Secado
0	10	21.6		
24	9.5	20.6	21.1	0.52
48	8.5	19.1	19.9	0.37
72	7	16.1	17.6	0.44
96	6.1	14.1	15.1	0.18
120	5.2	10.9	12.5	0.20
144	4.9	8.8	9.9	0.09
168	4.7	7	7.9	0.07
192	4.7	6.5	6.8	0.02

## ➤ T2 (Marquesina – Variedad CCN-51)

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Humedad</b>	<b>Humedad media</b>	<b>Velocidad de Secado</b>
0	10	21.4		
24	9.3	20.5	21.0	0.47
48	8.7	20	20.3	0.34
72	8.4	19.8	19.9	0.24
96	7.1	16.3	18.1	0.38
120	6.6	13.5	14.9	0.21
144	5.9	11.7	12.6	0.10
168	5.5	9.2	10.5	0.11
192	5.3	7.3	8.3	0.07
216	5.2	6.6	7.0	0.02

## ➤ T3 (Secadora Rotatoria – Variedad Nacional)

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Humedad</b>	<b>Humedad media</b>	<b>Velocidad de Secado</b>
0	100.23	21.4		
1	98.5	20.6	21.0	6.12
2	93.4	19.3	20.0	5.10
3	86.5	18.1	18.7	2.89
4	80.9	17.3	17.7	1.43
5	77.6	16.4	16.9	1.12
6	72.3	15.3	15.9	1.20
7	68.6	14.5	14.9	0.66
8	60.6	13.6	14.1	0.57
9	57.9	11.6	12.6	1.11
10	52.3	9.5	10.5	0.95
11	47.5	8.2	8.8	0.50
12	43.03	7.3	7.7	0.27

## ➤ T4 (Secadora Rotatoria – Variedad CCN-51)

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Humedad</b>	<b>Humedad media</b>	<b>Velocidad de Secado</b>
0	77.00	21.2		
1	74.3	19.3	20.3	11.85
2	70.5	18.3	18.8	2.81
3	67.4	17.6	18.0	1.19
4	61.9	16.6	17.1	1.23
5	58.4	15.6	16.1	0.96
6	53.6	14.7	15.2	0.64
7	49.6	13.4	14.1	0.71
8	43.1	11.3	12.4	0.92
9	38.4	10.7	11.0	0.22
10	33.2	9.6	10.1	0.29

11	30.5	7.7	8.7	0.40
12	28.8	7.2	7.5	0.10

## Anexo 15

### Determinación colorimétrica

Los atributos de color se cuantificaron mediante un colorímetro portátil marca NR60CP, iluminación/visualización d/8° digital como se observa en la Figura 42. Las medidas del color fueron tomadas de doce unidades experimentales, a las que se extrajo diez granos de cacao al azar que fueron cortados en forma longitudinal para apreciar el estado interno de cada grano y calificarlo. El parámetro L\* se refiere a la luminosidad de la muestra. L\* toma un valor en escala de grises (L\*=0 oscuro y L\*=100 iluminado), el parámetro a\* representa el rango de verde a rojo, y el parámetro b\* representa el rango de azul a amarillo fueron registradas por el colorímetro (G. C. Chire et al., 2016). A partir del componente a\* y b\* se calculó el ángulo de tono Hue y la cromaticidad mediante la ecuación 6 y 7 respectivamente. El ángulo del matiz (H\*) representa en una cuadrícula de 360° donde 0° es rojo azulado, 90° es amarillo, 180° es verde y 270° es azul. Además, el croma (C\*) representa la cantidad de color y se mide según la distancia al origen de coordenadas (Becerra et al., 2023).

$$H = \arctg(b^*/a^*) \quad (9)$$

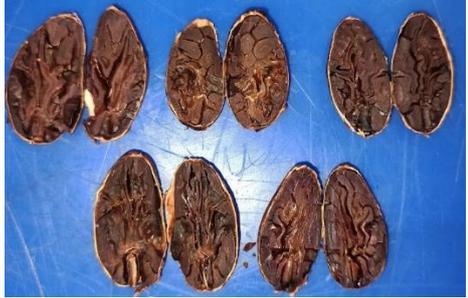
$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10)$$

Dónde:

H\*: ángulo Hue

C\*: Cromaticidad

**Figura 49***Determinación de Color*

Variedad	Fresco	Seco
Nacional	 	 
CC-51	 	 

## Anexo 16

Formulario para registrar los resultados de la evaluación

### DETERMINACIÓN DE ATRIBUTOS SENSORIALES EN PASTA DE CACAO

#### Instrucciones:

Por favor, pruebe las muestras e indique su nivel de intensidad marcando con el número que corresponda según la escala de la parte izquierda. Su sinceridad es muy importante, hágalo con total honestidad.

**Nota:** Comer una galleta y beber agua al terminar de evaluar cada muestra, con el fin de que no exista combinación de muestras anteriores.

Sabor	Descripción
Acidez	Sabor ácido, que se relaciona con frutas cítricas y vinagre.
Amargor	Sabor fuerte, que se relaciona con el café, cerveza caliente y la toronja.
Astringencia	Provoca sequedad en la boca y aumento de salivación.

Puntaje	Intensidad
5	Muy intensa
4	Intensa
3	Moderado
2	Débil
1	Muy débil
0	Ausente

Categoría	Muestras			
	630	527	994	925
Aroma				
Acidez				
Amargor				
Astringencia				

Ordene de mayor a menor las muestras, en cuanto a sus categorías:

Aroma	Acidez	Amargor	Astringencia
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Ordene de acuerdo con su preferencia:

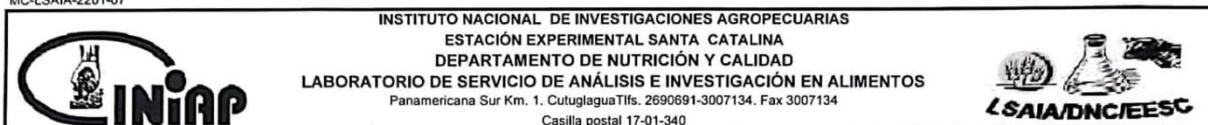
Puntaje	Intensidad
4	Me gusta mucho
3	Me gusta moderadamente
2	Me disgusta moderadamente
1	Me disgusta mucho

630 \_\_\_\_\_ 527 \_\_\_\_\_ 994 \_\_\_\_\_ 925 \_\_\_\_\_

¡Gracias por su colaboración!

## Anexo 17. Resultados de Análisis de Laboratorio

MC-LSAIA-2201-07



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD  
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS  
Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTifs. 2690691-3007134. Fax 3007134  
Casilla postal 17-01-340

INFORME DE ENSAYO No: 23-033

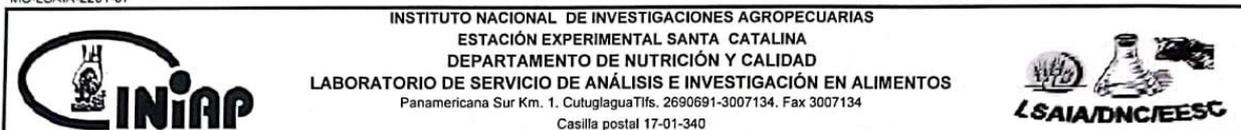
**\*\*NOMBRE PETICIONARIO:** Srta. Nayelly España  
**\*\*DIRECCIÓN:** San Gabriel/ Carchi  
**FECHA DE EMISIÓN:** 27/03/2023  
**FECHA DE ANÁLISIS:** Del 01 al 27 de marzo del 2023

**\*\*INSTITUCIÓN:** Universidad Técnica del Norte  
**\*\*ATENCIÓN:** Srta. Nayelly España  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 01/03/2023  
**HORA DE RECEPCIÓN:** 16h15  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Polifenoles y Capacidad Antioxidante (ABTS)

ANÁLISIS	HUMEDAD	POLIFENOLES $\Omega$	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE $\Omega$	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-31	MO-LSAIA-33	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Cross, E. y Maringo, G. 1973/1982	ABTS	
UNIDAD	%	mg Ac. Gálico/g	$\mu\text{m}$ Trolox/g	
23-0232	3,89	95,29	1133,43	Grano de Cacao CCN-51
23-0233	4,18	57,09	697,07	Grano de Cacao Nacional
23-0234	3,25	44,25	424,42	Pasta de Cacao T1 R1
23-0235	3,49	47,99	480,58	Pasta de Cacao T1 R2
23-0236	4,02	44,92	466,94	Pasta de Cacao T1 R3
23-0237	3,65	44,88	582,70	Pasta de Cacao T2 R1
23-0238	3,41	49,04	589,78	Pasta de Cacao T2 R2
23-0239	4,09	46,69	594,75	Pasta de Cacao T2 R3
23-0240	4,50	51,28	524,49	Pasta de Cacao T3 R1
23-0241	3,60	51,76	529,05	Pasta de Cacao T3 R2
23-0242	3,94	52,97	540,81	Pasta de Cacao T3 R3
23-0243	4,02	87,89	979,93	Pasta de Cacao T4 R1

Página 1 de 2

MC-LSAIA-2201-07



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD  
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS  
Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTifs. 2690691-3007134. Fax 3007134  
Casilla postal 17-01-340

INFORME DE ENSAYO No: 23-033

ANÁLISIS	HUMEDAD	POLIFENOLES $\Omega$	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE $\Omega$	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-31	MO-LSAIA-33	
METODO REF.	MO-LSAIA-01.01	CROS E Y MARIGO G. (1982/1973)	ABTS	
UNIDAD	U. FLORIDA 1970	mg Ac. Gálico/g	$\mu\text{m}$ Trolox/g	
23-0244	3,84	80,73	942,17	Pasta de Cacao T4 R2
23-0245	3,79	80,29	978,31	Pasta de Cacao T4 R3

Los ensayos marcados con  $\Omega$  se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente



VERÓNICA ALEXANDRA  
ARIAS DEHUYE

Quím. Verónica Arias  
RESPONSABLE TÉCNICO

## RESPONSABLES DEL INFORME



BLADIMIR ESPINOSA  
ORTIZ RAMOS

Ing. Bladimir Ortiz  
RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, esta dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo puede ser usada por este. Los datos marcados con  $\Omega$  son suministrados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Página 2 de 2