ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS PREVIOS AL PROCESO DE TOSTADO DE SEMILLAS DE CACAO PARA EL DISEÑO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO *(Theobroma cacao)*

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

ERIKA ANDREA ALEGRÍA VARGAS
alegriaeri@gmail.com

DIRECTOR: ING. EDWIN VERA CALLE, Ph. D.
edwin.vera@epn.edu.ec

Quito, febrero 2015

© Escuela Politécnica Nacional (2015)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Erika Andrea Alegría Vargas, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Erika Andrea Alegría Vargas

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Erika Andrea Alegría Vargas, bajo mi supervisión.

Ing. Edwin Vera Calle, Ph. D.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto semilla PIS 12-22 “Optimización del proceso de obtención de chocolate a partir de almendras de cacao producidas en las zonas tropicales de Ecuador”, que se ejecuta en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB).

AGRADECIMIENTOS

La culminación de una etapa de la vida, trae consigo emociones divididas, muy difíciles de plasmar en pocas líneas, sin embargo los recuerdos, vivencias y experiencias compartidas quedaran en mi memoria imborrable en el tiempo, porque hay cosas que se aprenden en las aulas y otras en la universidad de la vida.

En primer lugar agradezco a Dios por guiar mis pasos día a día.

A todas las personas que me han ayudado a lo largo del desarrollo del proyecto: al personal del DECAB, a profesores y estudiantes de la FIQA, al gobierno provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas y de forma especial al Ing. Edwin Vera, que ha sabido guiarme y aconsejarme con sus conocimientos.

A mis padres Kelly y Miguel por ser mis confidentes, cómplices y protectores, a mis hermanos Byron, Fernando y Mishell por todo lo compartido.

A mis abuelitos y abuelitas, tíos y tías, primos y primas, por estar pendientes y acudir en mi auxilio cuando más lo he necesitado.

A mis amigos deportistas por enseñarme que la disciplina, el trabajo en equipo y perseverancia son aptitudes que no solo sirven en juego, sino también en la vida.

A mis amigos de la asociación y federación de estudiantes, por su paciencia, comprensión y cariño. En este tipo de actividades se pone a prueba lo bueno, lo conveniente y lo justo.

A mis amigos del colegio y la universidad, porque ni la distancia ni el tiempo nos hará perder nuestros vínculos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis ángeles en la tierra, mis padres.

El esfuerzo que hemos hecho durante muchos años, al estar alejados, ha dado sus frutos.
Sin su apoyo incondicional y sus sabios consejos no lo habría conseguido.

Soy lo que ustedes han forjado.

Les amo con todo mi corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

		PÁGINA
RESUMEN		**xi**
INTRODUCCIÓN		**xiii**
1	**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**	**1**
1.1	El cacao en el Ecuador	1
1.1.1	Origen	1
1.1.2	Variedades	2
1.1.3	Manejo del cultivo	5
1.1.4	Cosecha	7
1.1.5	Fermentación	8
1.1.6	Secado y almacenamiento	9
1.1.7	Situación de la producción del cacao en grano	10
1.2	Proceso de obtención de pasta de cacao	14
1.2.1	Selección	15
1.2.2	Limpieza y clasificación	15
1.2.3	Alcalinización	16
1.2.4	Tostado	16
1.2.5	Descascarillado	17
1.2.6	Triturado y molienda	17
1.2.7	Composición nutricional de la pasta de cacao	18
1.2.8	Influencia del consumo de la pasta de cacao en la salud	19
1.2.9	Situación de la producción de elaborados de cacao en el Ecuador	21
1.3	Efecto del procesamiento en el desarrollo del olor y sabor de la pasta de cacao	23
1.3.1	Efecto del manejo del cultivo y de la cosecha	23
1.3.2	Efecto de la fermentación	24
1.3.3	Efecto del secado y de la alcalinización	25
1.3.4	Efecto del tostado	27
2	**MATERIALES Y MÉTODOS**	**31**
2.1	Materia prima	31
2.2	Caracterización física y química de las semillas de cacao	31
2.2.1	Análisis físico	31
2.2.1.1	Largo, ancho y espesor	32
2.2.1.2	Peso	32
2.2.1.3	Porcentaje de cascarilla	32
2.2.1.4	Color	33

2.2.2 Análisis químico 33
2.2.2.1 Humedad 33
2.2.2.2 Grasa total 34
2.2.2.3 Azúcares 35
2.2.2.4 pH 36
2.2.2.5 Acidez titulable 36
2.2.2.6 Polifenoles totales 37

2.3 Procesamiento de las semillas de cacao 38
2.3.1 Aplicación de los tratamientos a las semillas de cacao 40
2.3.2 Obtención de la pasta de cacao y del chocolate negro 40
2.3.3 Evaluación de las características físicas, químicas y sensoriales de las pastas de cacao obtenidas 41
2.3.4 Selección del mejor tratamiento 42
2.3.5 Caracterización física, química y sensorial de las pastas de cacao seleccionadas 42

2.4 Diseño del área de producción de pasta de cacao 42

2.5 Estimación del costo de implementación del área de producción de pasta de cacao 43

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44

3.1 Caracterización física y química de las semillas de cacao 44
3.1.1 Análisis físico 44
3.1.2 Análisis químico 50

3.2 Procesamiento de las semillas de cacao 58

3.3 Evaluación de las características físicas, químicas y sensoriales de las pastas de cacao obtenidas 63
3.3.1 Evaluación del análisis físico 63
3.3.2 Evaluación del análisis químico 64
3.3.3 Evaluación del análisis sensorial 67
3.3.4 Selección del mejor tratamiento 69

3.4 Caracterización física química y sensorial de las pastas de cacao seleccionadas 70
3.4.1 Análisis físico 70
3.4.2 Análisis químico 73
3.4.3 Análisis sensorial 80

3.5 Diseño del área de producción de pasta de cacao 83

3.6 Estimación del costo de implementación del área de producción de pasta de cacao 88

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 91

4.1 Conclusiones 91

4.2 Recomendaciones 92

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94

ANEXOS 110

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1.	Clasificación taxonómica del cacao	1
Tabla 1.2.	Características de los clones vigentes liberados por el INIAP	4
Tabla 1.3.	Resumen de las principales enfermedades del cultivo de cacao	7
Tabla 1.4.	Características de calidad de las semillas de cacao secas fermentadas.	15
Tabla 1.5.	Composición nutricional de 100 g de pasta de cacao	18
Tabla 1.6.	Resumen de investigaciones sobre el efecto del consumo de polifenoles de cacao en animales con cáncer	21
Tabla 1.7.	Compuestos aromáticos obtenidos a partir de aminoácidos libres hidrofóbicos	25
Tabla 2.1.	Codificación de los tratamientos empleados en el diseño experimental	38
Tabla 3.1.	Características físicas de las semillas de cacao	44
Tabla 3.2.	Resumen de investigaciones sobre las dimensiones de semillas de cacao	46
Tabla 3.3.	Resumen de investigaciones sobre el peso de 100 semillas y el porcentaje de cascarilla de semillas de cacao	47
Tabla 3.4.	Resumen de investigaciones sobre las coordenadas de color en CIELAB de semillas de cacao	49
Tabla 3.5.	Características químicas de las semillas de cacao	50
Tabla 3.6.	Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de humedad y la grasa total de semillas de cacao	51
Tabla 3.7.	Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de azúcares de semillas de cacao	53
Tabla 3.8.	Resumen de investigaciones sobre el pH y la acidez titulable de semillas de cacao	55
Tabla 3.9.	Resumen de investigaciones sobre los polifenoles totales de semillas de cacao	57
Tabla 3.10.	Medida de la humedad de cada tatamiento al finalizar los diferentes procesos	58
Tabla 3.11.	Monitoreo de la temperatura y la agitación del chcocolate durante el conchado	61

Tabla 3.12.	Rendimiento del procesamiento de las semillas de cacao de cada procedencia	62
Tabla 3.13.	Coordenadas de color de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos	64
Tabla 3.14.	Coordenadas de color de las pastas de cacao	71
Tabla 3.15.	Resumen de investigaciones sobre las coordenadas de color en CIELAB de chocolates negros	72
Tabla 3.16.	Características químicas de las pastas de cacao	73
Tabla 3.17.	Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de humedad y la grasa total de pastas de cacao	75
Tabla 3.18.	Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de azúcares de pastas de cacao	77
Tabla 3.19.	Resumen de investigaciones sobre el pH y la acidez titulable de pastas de cacao	78
Tabla 3.20.	Resumen de investigaciones sobre los polifenoles totales de pastas de cacao	79
Tabla 3.21.	Características sensoriales de las pastas de cacao	80
Tabla 3.22.	Resumen de investigaciones sobre el análisis sensoriales de pastas de cacao	82
Tabla 3.23.	Nomenclatura de los equipos y los transportes en el PFD y el LAYOUT	85
Tabla 3.24.	Costos de los equipos del área de producción de pasta de cacao	89
Tabla 3.25.	Costo de producción mensual del área de producción de pasta de cacao	89
Tabla VI. 1.	Análisis de varianza de la coordenada de color L	117
Tabla VI. 2.	Prueba de rangos múltiples LSD de la coordenada de color L para el factor tratamiento	117
Tabla VI. 3.	Análisis de varianza de la coordenada de color a	117
Tabla VI. 4.	Prueba de rangos múltiples LSD de la coordenada de color a para el factor tratamiento	118
Tabla VI. 5.	Análisis de varianza de la coordenada de color b	118
Tabla VI. 6.	Prueba de rangos múltiples LSD de la coordenada de color b para el factor tratamiento	118
Tabla VI. 7.	Análisis de varianza de la humedad	119
Tabla VI. 8.	Prueba de rangos múltiples LSD de la humedad para el factor tratamiento	119

Tabla VI. 9.	Análisis de varianza del pH	119
Tabla VI. 10.	Prueba de rangos múltiples LSD del pH para el factor tratamiento	120
Tabla VI. 11.	Análisis de varianza de la acidez titulable	120
Tabla VI. 12.	Prueba de rangos múltiples LSD de la acidez titulable para el factor tratamiento	120
Tabla VI. 13.	Análisis de varianza de los polifenoles	121
Tabla VI. 14.	Prueba de rangos múltiples LSD de los polifenoles para el factor tratamiento	121
Tabla VI. 15.	Análisis de varianza del olor a chocolate de la pasta de Lago Agrio	121
Tabla VI. 16.	Prueba de rangos múltiples LSD del olor a chocolate de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento	121
Tabla VI. 17.	Análisis de varianza del olor extraño de la pasta de Lago Agrio	122
Tabla VI. 18.	Prueba de rangos múltiples LSD del olor extraño de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento	122
Tabla VI. 19.	Análisis de varianza del sabor a chocolate de la pasta de Lago Agrio	122
Tabla VI. 20.	Prueba de rangos múltiples LSD del sabor a chocolate de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento	122
Tabla VI. 21.	Análisis de varianza de la acidez de la pasta de Lago Agrio	123
Tabla VI. 22.	Prueba de rangos múltiples LSD de la acidez de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento	123
Tabla VI. 23.	Análisis de varianza del amargor de la pasta de Lago Agrio	123
Tabla VI. 24.	Prueba de rangos múltiples LSD del amargor de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento	123
Tabla VI. 25.	Análisis de varianza del sabor extraño de la pasta de Lago Agrio	124
Tabla VI. 26.	Prueba de rangos múltiples LSD del sabor extraño de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento	124
Tabla VI. 27.	Análisis de varianza del olor a chocolate de la pasta de Santo Domingo	124
Tabla VI. 28.	Prueba de rangos múltiples LSD del olor a chocolate de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento	124
Tabla VI. 29.	Análisis de varianza del olor extraño de la pasta de Santo Domingo	125

Tabla VI. 30.	Prueba de rangos múltiples LSD del olor extraño de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento	125
Tabla VI. 31.	Análisis de varianza del sabor a chocolate de la pasta de Santo Domingo	125
Tabla VI. 32.	Prueba de rangos múltiples LSD del sabor a chocolate de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento	125
Tabla VI. 33.	Análisis de varianza de la acidez de la pasta de Santo Domingo	126
Tabla VI. 34.	Prueba de rangos múltiples LSD de la acidez de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento	126
Tabla VI. 35.	Análisis de varianza del amargor de la pasta de Santo Domingo	126
Tabla VI. 36.	Prueba de rangos múltiples LSD del amargor de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento	126
Tabla VI. 37.	Análisis de varianza del sabor extraño de la pasta de Santo Domingo	127
Tabla VI. 38.	Prueba de rangos múltiples LSD del sabor extraño de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento	127
Tabla AVIII. 1.	Héctareas sembradas de cacao para el proyecto de Santo Domingo	129
Tabla AVIII. 2.	Considerasiones de tiempo y dimensionamiento para el diseño del área de producción de pasta de cacao.	129
Tabla AVIII. 3.	Rendimiento de las operaciones unitarias estimadas para el área de producción de pasta de cacao	130

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1.	Frutos maduros de las variedades de cacao	2
Figura 1.2.	Frutos del cacao ecuatoriano	5
Figura 1.3.	Histórico del 2003 – 2013 de los ingresos de las exportaciones no petroleras tradicionales y del cacao en grano	11
Figura 1.4.	Histórico del 2002 – 2012 de la producción de granos de cacao por provincias	11
Figura 1.5.	Histórico del 2002 – 2012 de la superficie sembrada de cacao en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Sucumbíos	12
Figura 1.6.	Mapa de sabores del cacao ecuatoriano	13
Figura 1.7.	Exportación del cacao en grano según su calidad en 2011 y 2012	14
Figura 1.8.	Histórico de 2003 – 2013 de ingresos de exportaciones no petroleras tradicionales y de cacao en grano	22
Figura 1.9.	Exportación de cacao en grano según su calidad en 2011 y 2012	22
Figura 1.10.	Esquema cinético simplificado de la reacción de Maillard	28
Figura 1.11.	Gama de sabores de la pasta de cacao según las condiciones de operación en la fermentación, el secado y el tostado	30
Figura 2.1.	Diagrama de bloques del procesamiento de semillas de cacao	39
Figura 3.1.	Color de las semillas de cacao	48
Figura 3.2.	Monitoreo de la temperatura durante el acondicionamiento térmico	59
Figura 3.3.	Monitoreo de la temperatura durante el secado	60
Figura 3.4.	Monitoreo de la temperatura durante el tostado	61
Figura 3.5.	Humedad de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos	64
Figura 3.6.	pH de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos	65
Figura 3.7.	Acidez titulable de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos	66
Figura 3.8.	Polifenoles totales de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos	67

Figura 3.9.	Análisis sensorial de las pastas de cacao de Lago Agrio obtenidas por los diferentes tratamientos	68
Figura 3.10.	Análisis sensorial de las pastas de cacao de Santo Domingo obtenidas por los diferentes tratamientos	69
Figura 3.11.	Color de las pastas de cacao	71
Figura 3.12.	PFD del área de producción de pasta de cacao	86
Figura 3.13.	LAYOUT del área de producción de pasta de cacao	87
Figura AIV. 1.	Fotografías de la aplicación del tratamiento con solución acuosa	114
Figura AIV. 2.	Fotografías de la obtención de chocolates negros	115

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO I 111
Cálculos para cuantificar los azúcares

ANEXO II 112
Cálculos para cuantificar los polifenoles totales

ANEXO III 113
Modelo matemático del diseño factorial a × b

ANEXO IV 114
Fotografías del procesamiento de las semillas de cacao

ANEXO V 116
Formato delanálisis sensorial de chocolate negro

ANEXO VI 117
Análisis estadísticos de los tratamientos

ANEXO VII 128
Información para el diseño del área de producción de pasta de cacao

ANEXO VIII 129
Balance de masa del área de producción de pasta de cacao

ANEXO IX 131
Hojas de especificación de los equipos del área de producción de pasta de cacao

ANEXO X 138
Extracto de la cotización de equipos

RESUMEN

El Ecuador durante décadas ha destinado grandes extensiones de tierra al cultivo de cacao que generan importantes recursos económicos al país, ya que el cacao es de alta calidad. Actualmente Ecuador busca la industrialización de las materias primas, en consecuencia se requiere mejorar los procesos de manufactura, por ejemplo un proceso clave para la producción de chocolate es el tostado porque en este se desarrollan el aroma. Por lo antes expresado en esta investigación se aplicó tratamientos previos al tostado para potencializar las características físicas, químicas y sensoriales de las pastas de cacao.

Se empleó un diseño factorial 2×5, cuyos factores fueron: procedencia y tratamiento. Para evaluar la procedencia se seleccionaron semillas de cacao secas fermentadas de variedad nacional de Lago Agrio y Santo Domingo según la norma INEN 176 (2012). Se aplicaron los siguientes tratamientos previos al tostado: sin solución acuosa, hidratación hasta el 20% de humedad, hidratación y adición de 1 % de glucosa (respecto al peso en base seca de las semillas), hidratación y alcalinización a pH 8 con carbonato de potasio e hidratación, adición de 1 % de glucosa y alcalinización con carbonato de potasio. Antes de la aplicación de los tratamientos las semillas de cacao fueron limpiadas y caracterizadas mediante análisis físicos y químicos. Luego de aplicar el tratamiento las semillas fueron: dejadas en reposo por 24 horas, acondicionadas térmicamente a 40 °C por 15 minutos, secadas a 100 °C por 160 minutos, tostadas a 150 °C por 40 minutos, descascarilladas y molidas hasta obtener pasta de cacao. Se formuló chocolates negros con 70 % pasta de cacao y 30 % azúcar, se conchó a 90 °C por 120 minutos, se temperó a 32 °C y 28 °C por 5 minutos y se almacenó los chocolates a 4 °C en fundas de polietileno.

Se realizaron los siguientes análisis a las pastas de cacao obtenidas: color con colorímetro Minolta, polifenoles totales con Folin-Cioclateu´s, humedad, pH y acidez titulable según los métodos de la AOAC (2005); y se efectuó un análisis sensorial a los chocolates, en el cual se determinó: olor y sabor a chocolate, acidez, amargor, olor y sabor extraño.

Se analizó las variables de respuesta en el programa estadístico Statgraphics mediante el estudio de las medias por el método de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Todos los parámetros de salida presentaron diferencias estadísticas significativas entre las procedencias, no así entre los tratamientos. Las diferencias estadísticas en las coordenadas de color no son detectables por el ojo humano, en consecuencia no son relevantes. La medida de humedad fue menor al 2 %, lo cual asegura un adecuado proceso de tostado. La acidez titulable se ubicó entre 11,34 – 16,87 meq/100g. Se obtuvo mayor medida de pH y polifenoles totales para el último tratamiento (agua, glucosa y carbonato de potasio). El pH y polifenoles totales se ubicaron en 5,65 y 33,92 mgAG/g para la pasta procedente de Lago Agrio y 5,91 y 30,11 mgAG/g para la de Santo Domingo, respectivamente.

Además, se diseñó un área de producción de pasta de cacao para el convenio "Fortalecimiento de la cadena agroproductiva del cacao, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas", que lo impulsa la prefectura de la región. Se consideró una capacidad de procesamiento de 350 kg/h de semillas de cacao, para lo cual se requerirá de 7 operarios y una distribución de la planta en forma de "u" modificada.

Finalmente con base al diseño del área, se determinó que el costo de implementación sería de 220 238 dólares el cual incluye obra civil, equipos e instalación. Se calculó que el costo de producción de una caja de pasta de cacao de 30 kg sería de 115,56 dólares y el precio de venta al público con 25 % de utilidad sería 144,45 dólares, el cual es competitivo en 23 %.

Este trabajo aportó con la caracterización de semillas de cacao de orígenes poco estudiados y nuevos en el mercado como son Lago Agrio y Santo Domingo. Además estableció una alternativa al proceso tradicional de tostado con la finalidad de obtener cantidades importantes de polifenoles en la pasta, y presentó un diseño del área de producción de pasta de cacao para Santo Domingo.

INTRODUCCIÓN

En el año 2013 las exportaciones de Ecuador fueron de más de 29 mil millones de dólares FOB, de ellas el 20,8 % corresponden a las no petroleras, y de este porcentaje, el cacao y sus derivados generaron más de 530 millones de dólares. El cacao es el quinto producto de exportación después del banano, pescado, camarón y flores (BCE, 2014, p. 3). Según estadísticas entre 2004 – 2005, solo el 4,6 % de la producción de cacao a nivel mundial corresponde a fino de aroma, Ecuador es el primer productor con el 59 % (Ramírez, 2006, p. 8).

Existen dos variedades que se cultivan en el país CCN-51 y Nacional, esta última tiene mayor demanda por su calidad aromática (Amores, 2002, p. 9). Las provincias de mayor producción son: Guayas, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas. En estas provincias las hectáreas sembradas de cacao entre los años 2002-2012 se incrementaron hasta un 14,3 %, sin embargo otras provincias como Sucumbíos y Santo Domingo de los Tsáchilas tuvieron un aumento hasta 66,0 % (SINAGAP, 2014).

Actualmente el gobierno ecuatoriano está impulsando la creación de industrias para trasformar las materias primas en productos elaborados (SENPLADES, 2014, pp. 77–80). Por ejemplo la prefectura de Santo Domingo de los Tsáchilas promueve la creación de una planta de producción de chocolates (Gobierno Provincial de Santo Domigno de los Tsáchilas, 2013). El sector privado en el 2013 tuvo ingresos de más de 105 millones de dólares por concepto de semielaborados de cacao, que corresponde al 19,8 % de las exportaciones de cacao (El Agro, 2014, p. 24). Por tanto no solo existe el interés del sector público en el chocolate, sino también del sector privado.

Para que los productos de cacao ecuatorianos a nivel mundial sean más competitivos se requiere mejorar los procesos claves para la producción de pasta de cacao, que es ingrediente principal de un buen chocolate. Uno de los procesos determinantes es el tostado, porque en él se desarrollan los componentes de olor y sabor (Afoakwa, 2010, pp. 59–64). Las reacciones de Maillard son las

promotoras de los compuestos de aroma, y requieren como reactantes: azúcares reductores y aminoácidos libres; y como condiciones de reacción: humedad entre 10 – 25 %, pH alcalino y temperatura superior a los 100 °C (Barreiro y Sandoval, 2006, p. 35).

El contenido de antioxidantes que puede tener un alimento es muy valorado por los consumidores, por ejemplo los europeos (Beckett, 2008, pp. 10–11). El cacao fresco contiene entre 10-60 % de antioxidantes de los cuales el 4 % corresponden a antocianinas, 37 % a epicatequinas y 58 % a proantiocianinas (Afoakwa, Paterson, Fowler, y Ryan, 2008, p. 843).. Las epicatequinas en presencia de azúcares reductores se polimerizan y se trasforman en proantocianinas que son insolubles en agua y resistentes a altas temperaturas (Kothe, Zimmermann, y Galensa, 2013, p. 3662;).

Por las razones antes expuestas, en el presente proyecto se consideró el estudio de cacao de variedad nacional de dos regiones del país: Lago Agrio y Santo Domingo. Con la finalidad de incrementar los componentes de aroma producidos por las reacciones de Maillard se realizaron varios tratamientos previos al tostado que consistieron en: incrementar la humedad, cambiar el pH y adicionar azúcares reductores. Además se estimó los costos de implementación de un área de para producción de pasta de cacao para determinar la competitividad del producto.

Para efectuar el estudio se planteó el siguiente objetivo general: evaluar las características físicas, químicas y sensoriales de los diferentes tratamientos previos al proceso de tostado de semillas de cacao de variedad nacional y diseñar el área de producción de pasta de cacao, y los objetivos específicos: determinar las características físicas y químicas de las semillas de cacao de variedad nacional de Lago Agrio y Santo Domingo, evaluar las características físicas, químicas y sensoriales de las pastas de cacao obtenidas de los diferentes tratamientos previos al proceso de tostado de semillas de cacao, seleccionar el mejor tratamiento para cada procedencia, realizar la caracterización físico-química de las dos pastas de cacao seleccionadas, diseñar el área de producción de pasta de cacao y estimar el costo de implementación del área de producción diseñada.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 EL CACAO EN EL ECUADOR

1.1.1 ORIGEN

La planta de cacao es endémica de América del Sur, específicamente del valle que se encuentra entre los ríos Orinoco y Amazonas (Pound, 1933, p. 27). Los primeros en domesticar la planta fueron los Mayas y Aztecas en 600 A.C., aunque otras civilizaciones como los Incas también desarrollaron el cultivo (Fowler, 2009, p. 12). Su nombre científico es *Theobroma cacao*, la primera palabra en griego significa comida de los dioses y la segunda palabra en lengua Maya simboliza fruto rojo de fuerza. Se aprecia su clasificación taxonómica en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica del cacao

Reino	Plantae
Phylum	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malvales
Familia	Sterculiaceae
Género	Theobroma
Especie	Theobroma cacao

(Batista, 2009, p. 63)

Con el descubrimiento de América en 1492 y la posterior colonización del continente, los conquistadores europeos conocieron la bebida de chocolate, y de la mano de Hernán Cortez fue introducida a España en 1528. El consumo de cacao se incrementó en la aristocracia europea, razón que motivo a expandir el cultivo a otras zonas tropicales del mundo (Minifie, 1989, p. 17). En el siglo XVI y XVII el cultivo llegó a Asia, en el siglo XVIII se introdujo plantas de cacao a Brasil y en el siglo XIX se propagó la siembra de cacao desde Brasil a la costa oeste de África (Wood, 1991, p. 13).

La demanda de cacao en el mundo atrajo la atención de hacendados guayaquileños que en los años 1600 realizaron las primeras cosechas del cultivo. Las plantaciones de cacao se ubicaron a las orillas de los afluentes del río Guayas (río arriba), por ello se denominó como cacao Arriba. Existen registros de la producción de cacao desde 1780, pero es solo hasta 1911 que Ecuador llegó a ser uno de los mayores exportadores a nivel mundial. Sin embargo en 1917 llegaron enfermedades como monilla y escoba de bruja que atacaron agresivamente a los cultivos, lo que provocó la disminución en la producción de 50 mil a 10 mil toneladas. Este hecho motivó al estudio de las variedades de cacao a nivel mundial, para desarrollar genotipos resistentes a enfermedades y que mantengan las características del cacao ecuatoriano (Amores, 2002, p. 2).

1.1.2 VARIEDADES

A nivel mundial se han identificado 4 variedades genéticas de cacao, las cuales son: forastero, criollo, trinitario y nacional. En la figura 1.1 se muestra los frutos de las variedades de cacao.

Figura 1.1. Frutos maduros de las variedades de cacao
(Batista, 2009, pp. 125–130; MyO CONSULTING, 2008, pp. 10–11)

El árbol de cacao tipo forastero es originario de la cuenca del río amazonas, se caracteriza por su resistencia a plagas y enfermedades y se cultiva en Asia, África Occidental, América Central y del Sur (Hall et al., 2010, pp. 448–451). El genotipo cacao criollo es de bajo rendimiento debido a tener pocas semillas, cáscara

gruesa y susceptibilidad a plagas y enfermedades, se siembra desde México hasta Perú (MyO Consulting, 2008, p. 9). El cacao trinitario es un híbrido de las variedades criollo y forastero, por ello tiene buena producción y baja susceptibilidad a plagas y enfermedades (Augstburger et al., 2000, pp. 1–2). El cacao nacional antes era considerado como forastero, pero recientes análisis genéticos han probado que es otra variedad, existente solo en Ecuador y se caracteriza por tener aromas especiales como: flores, frutas y nueces (Fowler, 2009, p. 12).

Es importante conocer que el cacao a nivel comercial es categorizado como: ordinario o fino. El cacao ordinario se lo relaciona con la variedad forastero mientras el fino con las variedades: criollo, nacional y trinitario. La clasificación obedece a los compuestos aromáticos que generan las semillas de cacao durante su industrialización a chocolate (Afoakwa, 2010, p. 26).

Ecuador produce mayoritariamente dos tipos de cacao el CNN-51 y el nacional. El CCN-51 es un cacao ordinario, cuyas iniciales significan colección castro naranjal, fue desarrollado por el agrónomo Homero Castro en 1965 con la finalidad de obtener resistencia a enfermedades (ANECACAO, 2013a). La variedad nacional es el producto insignia del país por ser un cacao fino y muy solicitado por confiterías gourmet. Debido a la sensibilidad de esta variedad a enfermedades el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha desarrollado clones que la mezclan con variedades: trinitario y forastero (ANECACAO, 2013b).

Para la obtención de los clones el INIAP partió de una colección de árboles antiguos de cacao de variedad nacional, ubicada en la finca Buseta en Tenguel - Guayas. En 1990 se inició el estudio sobre el comportamiento fenotípico y sanitario de los 2 mil árboles pertenecientes a la colección. En 1995 se escogió 41 clones de la finca para ser sembrados en la Estación Experimental Tropical (EET) Pichilingue - Los Ríos. Con ello se creó la Colección de Genotipos de cacao Nacional del Ecuador (CGN), que continúa incrementándose. Los clones liberados que provienen de CGN reciben la denominación de EET más el número del

híbrido (Amores, Agama, Suárez, Quiroz, y Motato, 2009, pp. 2–3). En la tabla 1.2 se presentan los clones vigentes liberados por el INIAP.

Tabla 1.2. Características de los clones vigentes liberados por el INIAP

Clon	Liberado en:	Rendimiento (kg/ha/año)	Adaptación	Grasa total (%)	Porcentaje de cascarilla (%)
EET-19	1971	1 522	Todo el país	42,5 – 54,3	12,3
EET-48	1983	942	Vinces, Naranjal	46,4	13,7
EET-62	1983	1 039	Vinces, Naranjal	51,0	13,2
EET-95	1971	1 368	Todo el país	50,0	12,9
EET-96	1971	1 140	Todo el país	47,2	12,9
EET-103	1971	1 330	Todo el país	46,0	13,9
EET-544	2009	1 613	Santa Elena	52,4	12,4
EET-558	2009	1 559	Santa Elena	53,6	14,6
EET-575	2009	1 512	Manabí	48,3	15,0
EET-576	2009	1 203	Manabí	51,1	15,0

EET: Estación Experimental Tropical
(Amores, Agama, Suárez, et al., 2009, pp. 4–5; Amores, Agama, Mite, et al., 2009, pp. 19–20; Quiroz, 1971)

Por ello el cacao ecuatoriano en su mayoría es nacional × forastero seguido de nacional × trinitario y finalmente de nacional puro. A los híbridos antes mencionados se los conoce como complejo nacional porque conservan sus notas florales, frutales y/o a nueces pero son más productivos y resistentes a enfermedades. Es probable que en pocos años desaparezca el cacao nacional puro puesto que ahora solo representa el 5 % de los cultivos, tiene baja productividad y es susceptible a enfermedades, convirtiéndolo en una variedad poco atractiva para los agricultores (PRO ECUADOR, 2011, p. 16).

Para el 2000 se estimó que existieron 243 mil hectáreas de plantaciones de monocultivos de cacao y 191 mil asociadas con otro cultivo, del total de estas, el 90 % corresponde a la denominación Arriba mientras el 10 % a CCN-51 (Ramírez, 2006, pp. 2–3). El cacao CCN-51 tiene menor olor y sabor que el cacao Arriba, aunque es más productivo y resistente a enfermedades. Por tal razón muchos agricultores han introducido este cacao a sus plantaciones. En la figura 1.2 se presentan fotografías de los clones de cacao más sembrados en Ecuador.

Figura 1.2. Frutos del cacao ecuatoriano
(Amores, Agama, Suárez, et al., 2009)

1.1.3 MANEJO DEL CULTIVO

El cultivo de cacao debe emplazarse en lugares tropicales lluviosos a altitudes bajas que no sobrepasen los 1 200 msnm (Duguma, Gockowski, y Bakala, 2001, pp. 180–181). La temperatura debe mantenerse entre 23 – 26 °C, hasta una mínima de 14 °C y una máxima de 35 °C (Quiroz y Mestanza, 2012, pp. 2–3). Necesita una precipitación entre 1 800 – 2 500 mm distribuidas durante el año y una humedad relativa entre 70 – 80 %. El suelo debe ser franco con altos contenidos de materia orgánica, pH neutro entre 5.5 - 7,5 y nivel freático por debajo del 1,5 m (Augstburger et al., 2000, p. 4). Zonas con fuertes vientos, tendencia a inundaciones, suelos de textura arenosa o con más de 15 % de inclinación deben ser descartadas como lugar de sembrío (Quingaísa y Riveros, 2007, pp. 18–19).

En Ecuador regiones lluviosas como la amazonía y las transiciones interandinas, el suelo es arcilloso y con la materia orgánica acumulada en la superficie y poco distribuida a profundidad, estos factores hacen necesario la construcción de drenajes y la preparación del suelo. Se recomienda los clones EET-399, EET-400, ICM-67, Pound-12 (desarrollados en República Dominicana), y CCN-51 para estas zonas. Se sugiere colocar las plantas a distancia de 4 × 4 entre ellas en cuadro o a tresbolillo, por tanto la densidad de plantas corresponde a 625 plantas/ha (Paredes, 2009, pp. 3–8).

En la costa ecuatoriana las plantaciones de cacao pueden presentar problemas por falta de lluvias y excesivo viento por ello se debe considerar el emplazamiento de un sistema de riego y sembrar árboles para contrarrestar los vientos. Se recomienda una densidad de siembra de 833 plantas/ha, es decir debe existir una distancia de 4 × 3 m. Para terrenos con pendientes pronunciadas debe sembrarse las plantas con curvas de nivel (Quiroz y Mestanza, 2012, pp. 2–5).

La propagación de plántulas se la realiza a través de injertos de tipo estaca lateral o central. Una vez que las plántulas de cacao hayan alcanzado el tercer o cuarto mes están listas para el trasplante al lugar definitivo del cultivo (Paredes, 2009, pp. 7–11).

Se debe cultivar plantas de sombra provisional como plátano, maíz, yuca, entre otras; y de sombra permanente como: guabo, laurel, cítricos, maderables entre otros. La distancia de siembra va a depender de la planta, la cual puede ir desde 8 × 8 m hasta 24 × 24 m (Quiroz y Mestanza, 2012, pp. 6–10).

La fertilización química se realiza en base a la cosecha así por cada 455 kg de cacao seco fermentado se debe reponer al suelo 22 kg de nitrógeno (N), 5 kg de fósforo (P) y 38 kg de potasio (K). También es importante utilizar abonos orgánicos ya que estos permiten mantener la micro flora y fauna del suelo, se recomienda usar entre 2 - 4 kg/planta/año (Batista, 2009, p. 75).

Las podas permiten formar a la planta y eliminar ramas vegetativas, enfermas y yemas apicales, estas se deben realizar cada 4 meses. Además se debe retirar las malezas que se encuentran a 25 cm del radio de la base del tallo. Las principales plagas y enfermedades que atacan al cacao en estos lugares son: hormigas, mosquilla del cacao, moniliasis, escoba de bruja, mal de machete y mazorca negra. Según la zona una plaga y/o enfermedad va a tener mayor agresividad (Augstburger et al., 2000, pp. 6–7; Dostert, Roque, Cano, La Torre, y Weigend, 2012, pp. 12–13; Quiroz y Mestanza, 2012, pp. 2–8). Se presentan una descripción del desarrollo y forma de combatir de las principales enfermedades que afectan al cultivo de cacao en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Resumen de las principales enfermedades del cultivo de cacao

Enfermedad	Agente causal	Síntomas	Transmisión	Control
Mazorca Negra	*Phytophthora spp.*	Mazorca con partes café, que después se pudren	Gotas de agua que contiene la espora del hongo	Eliminación de mazorcas infestadas y aplicación de fungicidas
Escoba de Bruja	*Crinipellis perniciosa*	Disminución de brotes florales, exceso de yemas foliares, malformación de hojas	Esporas jóvenes trasportadas por el viento	Poda de yemas foliares y aplicación de fungicidas
Monilla	*Monillophthora roreri*	Mazorca que se pudre y acumula agua, partes más afectadas tienen esporas	Esporas resistentes trasportadas por el viento	Eliminación de mazorcas podridas y aplicación de fungicidas a base de cobre
Mal del machete	*Ceratocytis cocoafunesta*	Marchitez de hojas que no se desprenden, y tallo susceptible al ataque de insectos	Insectos que se alimentaron del tallo del árbol enfermo, atacan a otra planta.	Desinfección de equipos para la poda, evitar heridas en ramas y tallos del árbol

(Beckett, 2009, p. 13; Pico, Calcerón, Fernández, y Díaz, 2012, pp. 6–8)

Independientemente del lugar de cultivo de cacao se debe realizar una planificación de la aplicación de abonos, fertilizaciones, podas y controles fitosanitarios para conseguir los mejores rendimientos de las cacaoteras.

1.1.4 COSECHA

Una vez fecundada la flor de cacao y después de 4 – 6 meses se obtendrá una mazorca madura. Los frutos de cacao cuando alcanzan su madurez pasan de verde a amarillo (complejo nacional) y de rojo a anaranjado (CCN-51), otra señal de madurez es el olor frutal y un sonido hueco al golpear la mazorca. (Paredes, 2009, p. 32). Según la extensión del cacaotal se colecta las mazorcas cada 1 – 3 semanas. Se debe cortar por la mitad el pedúnculo que une el fruto a la planta para no dañar el cojín floral, para ello se utiliza tijeras, machete o podón.

Una vez cosechadas las mazorcas se acumulan en un lugar limpio para abrirlas y descorazonarlas en un tiempo máximo de 2 días. Cabe destacar que se debe escoger diferentes lugares de aperturas de las mazorcas porque la cáscara es hogar de insectos. Además estas se transforman en materia orgánica para el suelo, lo cual debe ser distribuido (Dostert et al., 2012, pp. 14–15).

Durante la apertura se debe cuidar de no lastimar las semillas. El descorazonado consiste en retirar la placenta que une a todas las semillas. Se apartará a las semillas con hongos, germinadas o enfermas. Al finalizar todo el proceso de cosecha se obtiene semillas frescas o también llamadas en baba (Paredes, 2009, pp. 32–33).

1.1.5 FERMENTACIÓN

Mayoritariamente en la región costa se utiliza sacos y en la amazonía cajas de madera para la fermentación de semillas de cacao. Durante este proceso existe el ataque de microorganismos del ambiente (levaduras y bacterias) que consumen y drenan el mucílago, luego muere el embrión, disminuye la acidez y amargor y aumentan los precursores de olor y sabor (Wacher, 2011, pp. 3–7).

Hay dos etapas en la fermentación la anaeróbica y la aeróbica. La fase anaeróbica empieza con la apertura de las mazorcas y consiste en el consumo de azúcares de la pulpa de las semillas por levaduras. Los azúcares se transforman en alcohol etílico y producto de estas reacciones se incrementa la temperatura a 35 °C. Esta fase culmina con la muerte de las levaduras a causa de una concentración cercana al 12 % de alcohol. Seguido se produce la fermentación aeróbica por la acción de bacterias, donde el etanol se transforma en ácido acético. El ácido ingresa a los cotiledones causando la muerte del embrión y la ruptura de enlaces que producen azúcares reductores y aminoácidos libres. En esta fase se alcanzan temperaturas entre 45 - 50 °C y se realizan remociones de las semillas cada 24 horas máximo para permitir el ingreso de oxígeno. (Batista, 2009, pp. 79–82; Paredes, 2009, pp. 34–36).

La duración de este proceso depende de la variedad así para el complejo nacional tarda entre 4 – 5 días, mientras para el CCN-51 es 5 – 6 días (Afoakwa, et al., 2008, p. 843). Al final del proceso se elimina la pulpa, se mide pH entre 4,8 - 5,2, se aprecia un cambio de color de los cotiledones de rosa o morado a café, se disminuye el amargor y se aumenta el olor y sabor a chocolate.

1.1.6 SECADO Y ALMACENAMIENTO

El principal objetivo del secado es disminuir el porcentaje de humedad por debajo del 8 % para evitar la contaminación con hongos durante el almacenamiento. Existen dos tipos de secadores: natural y artificial. Los secadores naturales utilizan al sol como fuente de energía y pueden ser de: plataforma fija con techo móvil, plataforma de cemento al aire libre, y tipo túnel. En cualquier tipo de secador natural se debe colocar una capa de semillas con máximo 3 cm de espesor y se debe remover el cacao cada hora. En contraste los artificiales tienen como fuente de energía: la electricidad, el gas, o la gasolina, en el caso de utilizar combustibles fósiles se debe tener cuidado que los gases de combustión no entren en contacto con el cacao porque podrían contaminarlo (Dostert et al., 2012, p. 16).

Existen varios diseños de secadores artificiales que además cuentan con un sistema para mover las semillas. En ambos tipos de secadores el aire caliente que ingresa a las semillas debe mantenerse entre 40 - 60 °C, porque a temperatura inferior puede causar pudrición y sobre este intervalo puede ocasionar tostación. La diferencias entre ambas clases de secadores radica en el tiempo del proceso, generalmente los de tipo natural tardan de 7 - 14 días, porque dependen de las condiciones ambientales, mientras a los artificiales les toma entre 12 - 24 horas. Al final del proceso se obtienen cotiledones de color marrón, con pH cercano a 5,5, con menor sabor amargo y ácido y con mayor olor y sabor a chocolate (Batista, 2009, pp. 82–84). En Ecuador el secado utilizado en la región costa es el natural en cambio en lugares húmedos como la amazonía o

transiciones interandinas se utilizan secadores artificiales, debido a las insuficientes horas de luz solar intensa.

Concluidos los procesos poscosecha (fermentación y secado) se colocan las semillas secas fermentadas en sacos de 100 lb. Los sacos se trasladan a bodegas frescas y secas de temperaturas inferiores a 20 °C y humedad relativa que no sobrepase el 70 %, donde se almacenan hasta su posterior venta (Paredes, 2009, p. 39).

1.1.7 SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL CACAO EN GRANO

En el 2013 las exportaciones ecuatorianas alcanzaron los 29 mil millones de dólares, de estas las exportaciones no petroleras tradicionales representan el 20,8 %, donde el cacao es el quinto producto de importancia en ventas (BCE, 2014, p. 2). Además el Ecuador es el principal exportador mundial de cacao fino de aroma con el 59 % (Ramírez, 2006, p. 8). En la figura 1.3 se observa el crecimiento de las exportaciones no petroleras tradicionales y las de cacao en grano. De la figura se aprecia que las exportaciones de cacao en grano no han aumentado de forma considerable debido a problemas en el manejo del cultivo y el mantenimiento de la superficie de cultivo.

Datos recolectados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) en el 2014 en el III Censo Nacional Agropecuario y por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) del sector privado, permiten afirmar que en Ecuador para el 2012 existieron alrededor de 508 mil ha de cacao sembrado, pero apenas 390 mil ha de cacao cosechado con un rendimiento cercano al 34 % (SINAGAP, 2014). Las provincias más productivas fueron: Guayas, Los Ríos, Esmeraldas y Manabí, seguido distantemente por Sucumbíos, Santo Domingo de los Tsáchilas, El Oro, Pichincha, entre otras. En la figura 1.4 se observa el histórico de 2002 – 2012 de la producción de cacao por provincias.

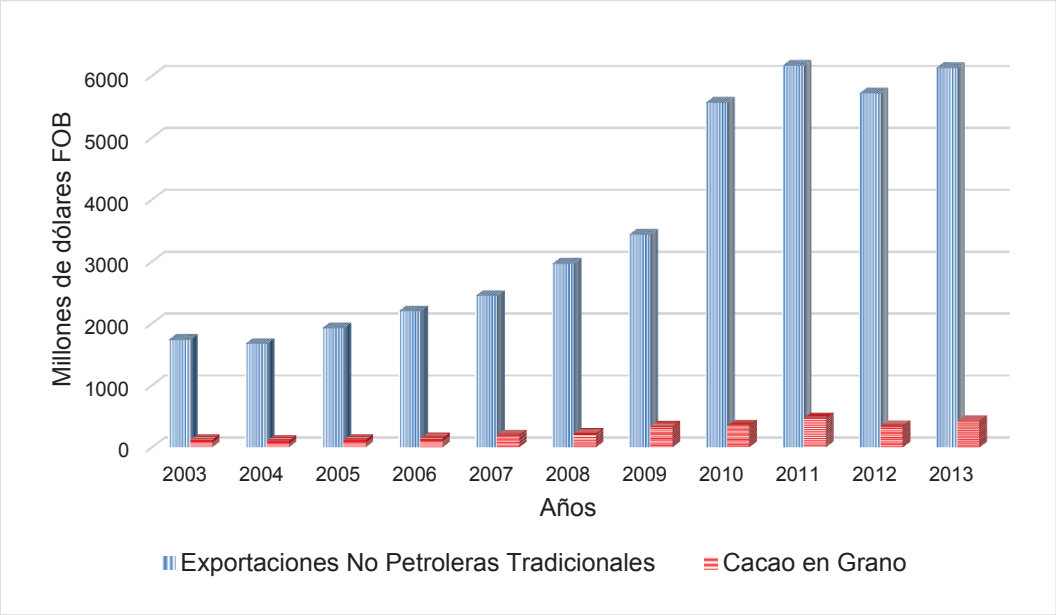


Figura 1.3. Histórico del 2003 – 2013 de los ingresos de las exportaciones no petroleras tradicionales y del cacao en grano
(BCE, 2014, pp. 1, 3)

Figura 1.4. Histórico del 2002 – 2012 de la producción de granos de cacao por provincias
(SINAGAP, 2014)

Las principales provincias productoras de cacao presentaron incrementos en la superficie sembrada entre 0,4 - 14,3 % para los años 2007 – 2012, mientras que las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Sucumbíos reportaron un

aumento de 31,5 % y 66,0 % para le mismo perído respectivamente (SINAGAP, 2014). El potencial productivo en estas dos regiones es alto. En la figura 1.5 se presenta el incremento del área del cultivo de cacao entre los años 2002 - 2012.

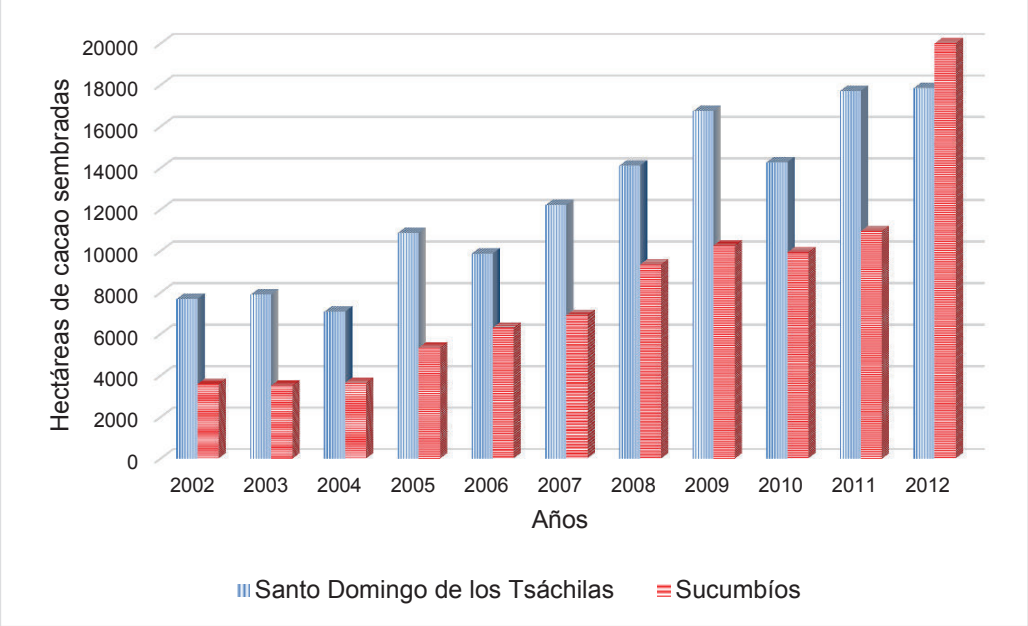


Figura 1.5. Histórico del 2002 – 2012 de la superficie sembrada de cacao en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Sucumbíos
(ANECACAO, 2013c, p. 3)

Es importante destacar que el olor y sabor del cacao esta ligado a la región donde ha sido cultivado así la Asociacion Nacional de Exportadores de Cacao del Ecuador (ANECACAO, 2013d), establece al cacao de las zonas de: Nororiente de Esmeraldas de cuerpo medio con toques florales y frutales, resto de Esmeraldas de cuerpo bajo con ligeras notas florales y nueces, Manabí y Santo Domingo de los Tsáhilas de buen cuerpo con olor a frutas frescas y sabor a almendras, Nooroccidente de Pichincha con aroma bajo a flores y frutas, amazonía con perfil de frutas tropicales y de buen cuerpo, Los Ríos y Guayas de fuerte percepción floral y de cuerpo intenso, El Oro con ligeras notas de flores y frutas y alta acidez. En la figura 1.6 se muestra la relación entre las regiones de Ecuador y los toques florales, frutales y/o nueces.

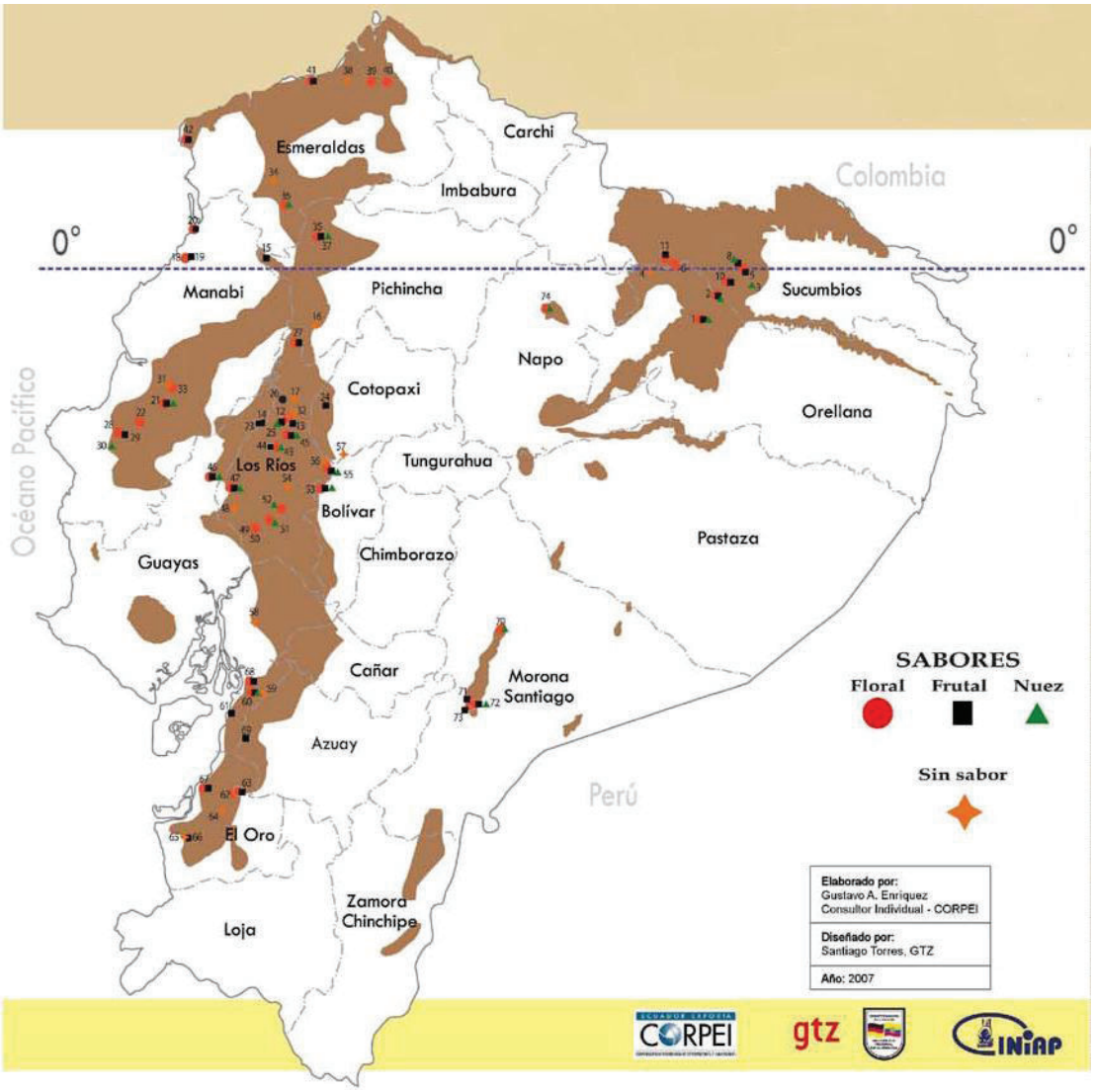


Figura 1.6. Mapa de sabores del cacao ecuatoriano
(Quingaísa y Riveros, 2007, p. 13)

Por otra parte ANECACAO posee datos de exportación de cacao en grano según la calidad del cacao definida por la norma INEN 176 (2012) para los años 2011 y 2012, los cuales se presentan en la figura 1.7.

La calidad del cacao depende del tamaño de la semilla y su característica aromática, a continuación se enumera las calidades de mayor a menor: Arriba Superior Summer Selecto (ASSS), Arriba Superior Selecto (ASS), Arriba Superio Navidad (ASN), Arriba Superior Época (ASE), Colección Castro Naranjal (CCN-51). Las calidades de ASE, ASN, ASS y ASSS representan a cacao de complejo

nacional por tanto se puede concluir que ANECACAO exporta mayoritariamente esta variedad, la cual corresponde al 74,0 % para el 2011 y al 68,1 % para el 2012.

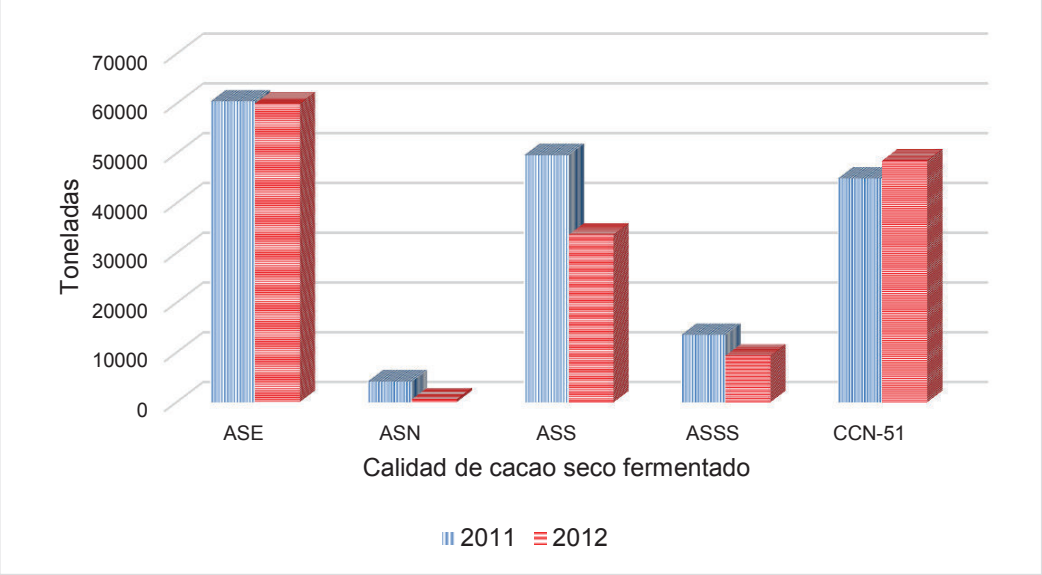


Figura 1.7. Exportación del cacao en grano según su calidad en 2011 y 2012
ASE: Arriba Superior Época; ASN: Arriba Superior Navidad; ASS: Arriba Superior Selecto; ASSS: Arriba Superior Summer Selecto; CCN-51: Colección Castro Naranjal.
(ANECACAO, 2013c, p. 3)

Aunque el precio del cacao depende de su calidad se estableció un precio de 125 dólares por 100 lb de cacao seco fermentado en junio del 2014. El cacao ecuatoriano en los 2 últimos años ha experimentado una alta cotización debido al incremento de la demanda y sostenimiento de la oferta, esto prevee que haya un aumento en sus precios en los próximos años.

1.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PASTA DE CACAO

Para obtener la pasta a partir de semillas de cacao se realizan las siguientes operaciones: selección, limpieza, alcalinización, tostado, descascarillado y molienda.

1.2.1 SELECCIÓN

La selección consiste en evaluar la calidad de las semillas de cacao, para ello se obtiene una muestra aleatoria a la cual se le realizan las siguientes pruebas: tamaño y peso de semillas, humedad, grasa, sabor, porcentaje de fermentación y cascarilla, cantidad de defectuosos, mohosos e infestados. Las características de calidad permitirán decidir la aceptación o rechazo del producto (Afoakwa, 2010, pp. 36–37). En la tabla 1.4 se muestra algunos de los requerimientos que deben cumplir las semillas de cacao.

Tabla 1.4. Características de calidad de las semillas de cacao secas fermentadas.

Requisitos	Unidad	ASSPS	ASSS	ASS	ASN	ASE
Peso de 100 granos	g	135-140	130-135	120-125	110-115	105-110
Buena Fermentación (mínimo)	%	75	65	60	44	26
Ligera Fermentación* (mínimo)	%	10	10	5	10	27
Violeta (máximo)	%	10	15	21	25	25
Pizarroso (máximo)	%	4	9	12	18	18
Moho (máximo)	%	1	1	2	3	4
Defectuosos (análisis sobre 500 granos, máximo)	%	0	0	1	3	4
Total Fermentado (mínimo)	%	85	75	65	54	53

ASSPS: Arriba Superior Summer Plantación Selecta; ASSS: Arriba Superior Summer Selecto; ASS: Arriba Superior Selecto; ASN: Arriba Superior Navidad; ASE: Arriba Superior Época.
(INEN, 2012, p. 3)

1.2.2 LIMPIEZA Y CLASIFICACIÓN

Las semillas de cacao secas fermentadas pueden contener arena, piedras, metales o restos vegetales, los cuales deben ser retirados para evitar el deterioro de los equipos. Las semillas pasan por un tamiz vibratorio de aire y luego por un separador magnético, el primero retira todas las impurezas y el segundo los metales. La clasificación consiste en separar las semillas por tamaño mediante el

uso de varias cribas, la uniformidad del tamaño del grano es importante en el proceso de tostado (Kamphuis, 2009, pp. 121–122).

1.2.3 ALCALINIZACIÓN

La alcalinización consiste en agregar un álcali que puede ser carbonato de sodio o potasio a las semillas, a los cotiledones o a la pasta de cacao, para aumentar el pH hasta valores entre 5,6 – 8,1 (Rodríguez, Pérez, y Guzmán, 2009, pp. 3–5). El cacao sometido a este proceso cambia de color de café oscuro a claro. Este proceso es muy utilizado en la fabricación de polvo de cacao porque aumenta la solubilidad del polvo en líquidos. Se debe rociar la solución de álcali concentración 1 – 2 % en peso (respecto a la materia prima) sobre las semillas, cotiledones o pasta de cacao. Luego se realizará un proceso de secado a 100 °C hasta conseguir la humedad con la cual la materia prima empezó el proceso. Este proceso se efectúa en una marmita con atomizador (Afoakwa, 2010, p. 39).

1.2.4 TOSTADO

El tostado contribuye a disminuir la humedad de las semillas por debajo del 2 %, en consecuencia la cascarilla se desprende con facilidad y las semillas son más rígidas facilitando su posterior molienda, además durante el tostado se producen las reacciones de Maillard que desarrollan las características finales de color, olor y sabor propios del chocolate. Un buen tostado garantiza la eliminación de microorganismos y ácidos volátiles que generan sabores amargos y ácidos. Las condiciones de operación de este proceso son temperatura entre 110 – 150 °C y tiempo entre 15 - 60 minutos.

Esta operación puede variar según el estado de la materia prima, así se pueden tostar semillas enteras, cotiledones o pasta de cacao. Al tostar semillas enteras un requisito importante es la uniformidad del tamaño de las almendra, los

cotiledones en cambio requieren un pretostado para facilitar la remoción de la cascarilla, y finalmente la pasta de cacao adicional a los procesos realizados a los cotiledones debe ser molida. Cabe destacar que entre más pequeño es el tamaño de partícula a tostar menor será la explosión a la temperatura y tiempo. Los tostadores de cacao pueden ser eléctricos o térmicos, para estos últimos se debe cuidar que la materia prima no tenga contacto con los gases producto de la combustión. La mayoría de tostadores cuentan con sistemas de agitación durante el proceso y enfriamiento después del tostado (Ziegleder, 2009, pp. 176–179).

1.2.5 DESCASCARILLADO

El descascarillado no es más que la remoción de la cascarilla que recubre el cotiledón, para ello es necesario que las semillas tengan un proceso de deshidratación lo que genera un espacio entre la cáscara y el cotiledón. Los equipos usados en esta operación aplastan las almendras, luego pasan por ventiladores de aire y tamices, para romper las semillas, retirar las cáscaras y clasificar los cotiledones (Beckett, 2008, pp. 43–44).

1.2.6 TRITURADO Y MOLIENDA

El objetivo de esta operación es reducir el tamaño de partícula de los cotiledones hasta un diámetro de 2 - 10 μm, a este producto se lo llama pasta de cacao. El primer proceso que se efectúa para la disminución de tamaño es la trituración, en ella se consigue pedazos de cotiledones de 5 mm de diámetro. Luego se realiza la molienda la cual rompe las células de 30 μm de diámetro que contienen lípidos. El alto contenido de grasa del cacao (50 – 55 %), provoca que a temperaturas superiores a 50 °C la pasta alcance una consistencia de fluido viscoso, la causa de este comportamiento es el punto de fusión de los lípidos que está entre 17 – 36 °C, dependiendo del tipo de forma del cristal. En esta operación se utilizan molinos de piedras, bolas, matillo o discos (Kamphuis, 2009, pp. 149–152).

1.2.7 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PASTA DE CACAO

Los macronutrientes de la pasta de cacao lo constituyen: las grasas, los carbohidratos, proteínas y los micronutrientes son: vitaminas, minerales, flavonoides, trazas (Afoakwa, 2010, p. 94). En la tabla 1.5 se presenta algunos componentes de la pasta de cacao.

Tabla 1.5. Composición nutricional de 100 g de pasta de cacao

Constituyente	Valor
Energía	580 kcal
Proteína	11 g
Carbohidratos	28 g
Grasas	55 g
Calcio	90,91 mg
Magnesio	314,10 mg
Hierro	13,41
Cobre	2,50 mg
Fósforo	432,95 mg
Potasio	1 024,09 mg
Sodio	2,95 mg
Zinc	4,32 mg

(Gebhardt y Thomas, 2001, p. 7; Minifie, 1989)

El mayor componente de la pasta de cacao es la grasa y los principales ácidos grasos son: 34 % ácido esteárico, 33 % ácido oleico y 27 % ácido palmítico (Beckett, 2008, p. 104). El ácido esteárico y palmítico son grasas saturadas mientras la grasa insaturada corresponde al ácido oleico. El principal representante de los carbohidratos es la sacarosa. El cacao es rico en polifenoles, especialmente en flavonoides. El cacao seco fermentado contiene: 37 % catequinas, 4 % antocianinas y 58 % proantocianinas (Hii, Law, Suzannah, Misnawi, y Cloke, 2009, p. 707). El consumo de 40 g de chocolate negro contiene alrededor de 951 mg de flavonoides (Lambert, 2009, p. 626).

1.2.8 INFLUENCIA DEL CONSUMO DE LA PASTA DE CACAO EN LA SALUD

En el mercado se encuentran varias formulaciones para cada tipo de chocolate, que va incidir en los beneficios que traen su consumo en la salud. Se ha concluido que los chocolates negros, frente a otro tipo de chocolates como el de leche o el blanco, poseen mejores propiedades nutritivas. La diferencia está dada por la cantidad de pasta de cacao en la formulación, a mayor cantidad de sólidos mayor cantidad de nutrientes.

Investigaciones han demostrado que el consumo de alimentos con altos contenidos de antioxidantes, disminuyen el riesgo a padecer enfermedades cardiovasculares (Cooper, Donovan, Waterhouse, y Williamson, 2008, p. 1). El contenido de grasa insaturada en el cacao contribuye a neutralizar o disminuir los niveles de colesterol en la sangre (Torres-Moreno, Torrescasana, Salas-Salvadó, y Blanch, 2014, p. 131). Los flavonoides previenen la oxidación del colesterol de baja densidad, en consecuencia disminuye las obstrucciones con grasa en las arterias, que podrían generar una ateroesclerosis (Grassi, Lippi, Necozione, Desideri, y Ferri, 2005, p. 613).

Se atribuye a los flavonoides la reducción de procesos inflamatorios porque incrementa la producción del óxido nítrico (antinflamatorio) y disminuye la formación de las leucotrienos (inflamatorios). El óxido nítrico ayuda a mantener el endotelio vascular sano, siendo el endotelio responsable de la dilatación de los vasos sanguíneos. Se ha demostrado que después del consumo de chocolate negro ha disminuido la presión arterial sistólica y diastólica. La acumulación de plaquetas espesa la sangre, lo que degenera en coágulos que incrementan el riesgo de tener una trombosis. Los flavonoides regular la producción y acumulación de las plaquetas en la sangre (Afoakwa, 2010, pp. 96–97).

Estudios realizados por Grassi et al. (2005) et al concluyen que el consumo de chocolate negro ayuda a mejorar el metabolismo de la glucosa y la sensibilidad de la insulina.

El índice glucémico (IG) se define como la cantidad de glucosa en la sangre después de 2 horas del consumo de 50 g de un carbohidrato. El chocolate tiene bajo IG lo que ayuda a disminuir la producción de hipoglucemia que interfiere con la función de la insulina en la sangre. En consecuencia el mejor desempeño de la insulina baja los niveles de azúcar en la sangre. La diabetes tipo 2 es la de mayor incidencia en la población, aunque hay factores genéticos que incrementan las posibilidades de padecerla, la dieta tendrán un peso importante en el desarrollo de la enfermedad (Lambert, 2009, pp. 629–630). En conclusión el consumo de chocolate negro ayuda a reducir la incidencia de tipo 2 en adultos.

Las caries en los dientes se producen por los ácidos generados de la degradación de carbohidratos por la placa bacteriana. El consumo de chocolate puede disminuir o neutralizar la formación de caries, porque su pH es cercano al neutro, su tránsito por boca es rápido haciendo difícil la metabolización de los azúcares y sus polifenoles tienen propiedades antibacterianas y antienzimáticas (Beckett, 2008, pp. 201–203).

Los antioxidantes disminuyen el ataque de radicales libres que pueden modificar la estructura genética de las células y de esta manera generar un cáncer. Romanczyk et al. (1997), examinó las propiedades anticancerígenas de extractos de cacao, al colocar cantidades de antioxidantes en células humanas con cáncer, estas disminuyeron su expansión. Los antioxidantes poliméricos como las proantocianinas impiden la ruptura de la cadena de ADN. Además este polifenol regula la producción de óxido nítrico que está vinculado a la ribonucleasa y esta a su vez en la síntesis de ADN. La regulación de la síntesis de ADN ayuda a inhibir el crecimiento de un tumor cancerígeno y la reproducción de bacterias por división celular (Cooper et al., 2008, p. 6; Martin, Goya, y Ramos, 2013, pp. 337–338).

Varios investigadores han realizado ensayos del efecto del consumo de polifenoles del cacao en animales con cáncer, encontrando efectos positivos (Martin et al., 2013, p. 337; Schinella et al., 2010, p. 1618). En la tabla 1.6 se encuentra el resumen de las investigaciones.

Tabla 1.6. Resumen de investigaciones sobre el efecto del consumo de polifenoles de cacao en animales con cáncer

Cáncer	Dosis	Duración	Principales efectos	Referencia
Páncreas	0,25 % proantocianinas	48 semanas	Disminuye lesiones	Yamagishi et al. (2002)
Pulmón	0,25 % proantocianinas	36 semanas	Disminuye carcinomas	Yamagishi et al. (2003)
Próstata	24 mg de polifenoles por kg de peso vivo	36 semanas	Disminuye tamaño del tumor	Bisson et al. (2008)
Hígado	16 % dieta rica en cacao	6 semanas	Disminuye proliferación necrótica	Granado - Serrano et al. (2009)
Colon	1 % catequina	10 semanas	Disminuye número de tumores	Weyant et al. (2001)
	12 % dieta rica en cacao	8 semanas	Disminuye lesiones pre neoplásticas	Rodríguez - Ramiro et al. (2011)

(Martin et al., 2013, p. 645)

1.2.9 SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ELABORADOS DE CACAO EN EL ECUADOR

El en 2013 la exportación de cacao en grano y elaborados constituyó ingresos de 530 millones de dólares, de los cuales los elaborados ocuparon el 19,8 %. El mercado de elaborados lo constituyen: cotiledones tostados y descascarillados (nibs), pasta, torta, manteca, polvo de cacao y chocolates.

En la figura 1.8 se presenta el histórico desde 2003 – 2013 de comparación entre las exportaciones de totales de cacao y la de elaborados de cacao. De la figura se aprecia que la principal fuente de remesas lo constituyeron el cacao en grano, en el 2003 representaron el 70,7 % y para el 2013 el 80,2 %. Sin embargo el área de elaborados de cacao si ha tenido crecimientos, así desde el 2003 hasta el 2013 se ha incrementado en 47,3 %.

Por otra parte en el 2012 se registraron ingresos de 109 millones de dólares por concepto de elaborados de cacao de los cuales, ANECACAO contribuyó con el 40,9 % (ANECACAO, 2012; BCE, 2014). Esta asociación exporta principalmente

pasta, manteca, polvo y torta de cacao. Sin embargo también existe la venta de productos como nibs y chocolate. En la figura 1.9 se presenta las exportaciones de cada tipo de elaborado en el 2011 y 2012 en toneladas.

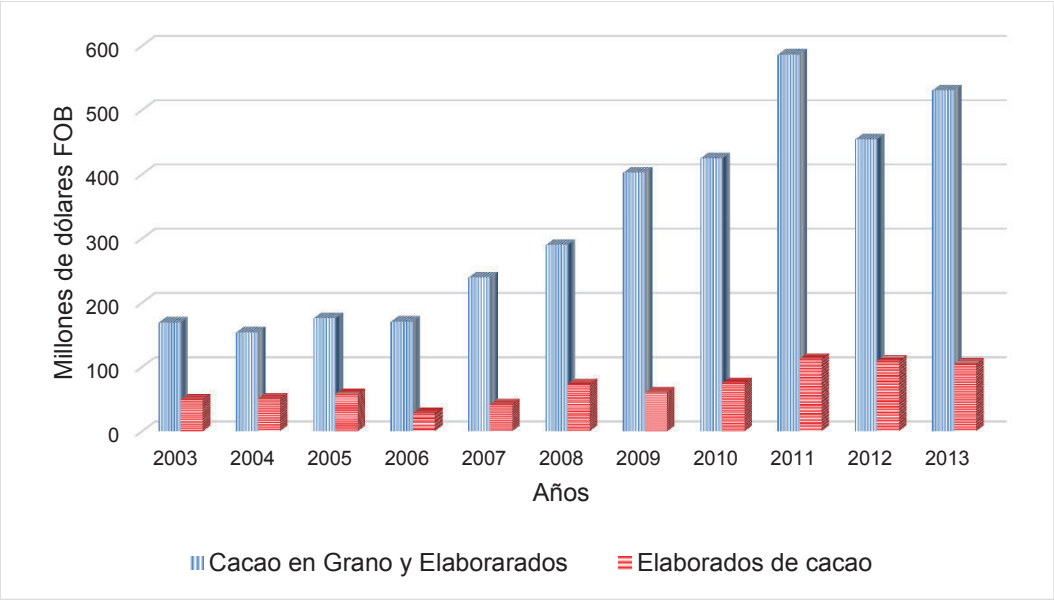


Figura 1.8. Histórico de 2003 – 2013 de ingresos de exportaciones totales de cacao y elaborados de cacao
(BCE, 2014, pp. 1, 3)

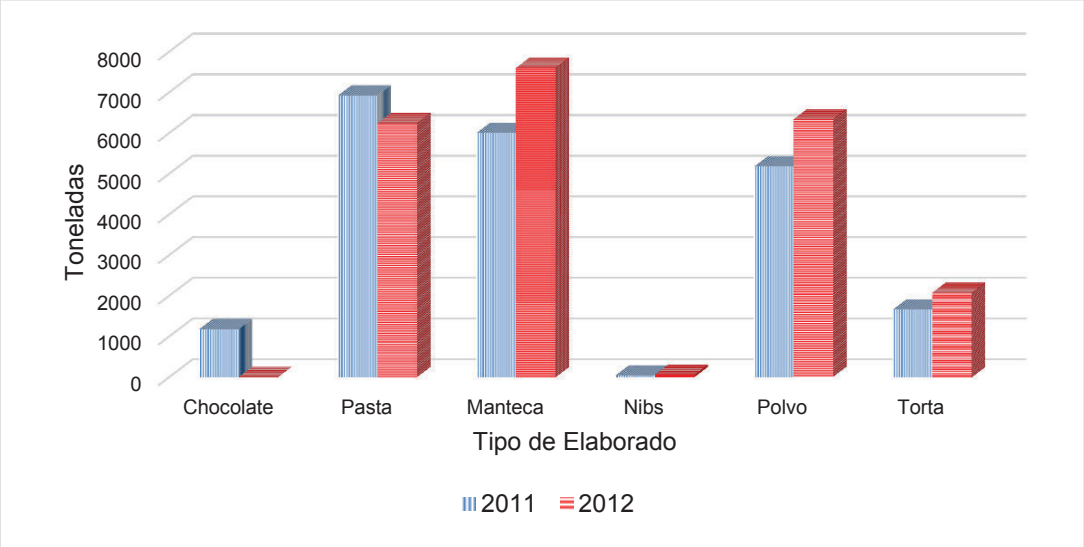


Figura 1.9. Exportación de cacao en grano según su calidad en 2011 y 2012
(ANECACAO, 2013c, p. 3)

ANECACAO registró una exportación de elaborados de cacao correspondiente a cerca de 21 mil toneladas para el 2011 y 22 mil toneladas para 2012. Los elaborados que incrementaron su producción fueron torta, manteca y polvo de cacao mientras la pasta de cacao disminuyó. En conclusión aunque se ha empezado a exportar con más fuerza elaborados de cacao aún se debe apoyar a este sector, lo ideal sería solo exportar chocolates.

Los precios aproximados de los semielaborados de cacao en marzo 2010 para un peso de 100 lb correspondieron a: pasta 129,23 dólares, manteca 224,78 dólares, torta 12,54 dólares y polvo 18,45 dólares (El Agro, 2014). La producción de elaborados de cacao constituye una oportunidad de exportación importante para incrementar las remesas ecuatorianas.

1.3 EFECTO DEL PROCESAMIENTO EN EL DESARROLLO DEL OLOR Y SABOR DE LA PASTA DE CACAO

1.3.1 EFECTO DEL MANEJO DEL CULTIVO Y DE LA COSECHA

Según varios investigadores el genotipo de las semillas de cacao tendrá importante influencia en la calidad final del olor y sabor en el chocolate (Christine Counet, Ouwerx, Rosoux, y Collin, 2004, p. 6245; Luna, Crouzillat, Cirou, y Bucheli, 2002, p. 3531). De la variedad de cacao dependerá la cantidad de precursores de aroma y polifenoles (C. Counet, Callemien, Ouwerx, y Collin, 2002, p. 2389; Reineccius, 2006, p. 87). Las diferencias del aroma no solo obedecerán a la variedad sino también a la localización del cultivo, clima, precipitaciones y riego, sombra, podas, fertilizaciones, controles de malezas, plagas y enfermedades (Taylor, 2002, p. 387).

Se debe cosechar solo mazorcas maduras, y abrir los frutos en un tiempo máximo de 24 horas. La apertura de la mazorca debe realizarse de forma que el mucílago y la testa de la semilla no sufran daños. Si semillas con plagas y/o enfermedades

no son separadas, estas pueden causar el deterioro de todo el producto (saco), disminuyendo su precio a la venta (Afoakwa, 2010, pp. 33, 72).

1.3.2 EFECTO DE LA FERMENTACIÓN

Las semillas frescas pueden contener entre 5 – 9 % de almidón y apenas 2 – 4 % de azúcares libres en base seca. La proporción más grande de azúcares corresponde a la sacarosa, sin embargo al finalizar la fermentación su presencia disminuye porque una parte se drena en el exudado de la pulpa y la otra se hidroliza a fructosa y glucosa (Afoakwa, 2010, pp. 27–30; Brito et al., 2001, p. 284; Hashim, Selamat, Kharidah, y Ali, 1998, p. 546). En consecuencia las almendras bien fermentadas deben tener un contenido de sacarosa cercana a cero y el porcentaje de azúcares reductores debe subir un 0,6 % en base seca.

Existe entre 10 – 16 % en base seca de proteína y bajos niveles de aminoácidos libres, pero la proteólisis de las proteínas en la fermentación incrementa este porcentaje a 1 – 2 %. La transformación de proteínas ocurre al producirse ácido acético y con ello bajar el pH (4,7 -4,8), ayudando así que los aminoácidos hidrofóbicos se liberen (Adeyeye, Akinyeye, Ogunlade, Olaofe, y Boluwade, 2010, pp. 359–362). Especialmente los péptidos y aminoácidos libres e hidrofóbicos como: leucina, valina, alanina, isoleucina y fenilalalina que son los precursores de olor y sabor de la pasta de cacao (Ziegleder, 2009, pp. 171–174). En la tabla 1.7 se muestra los compuestos aromáticos que se obtienen a partir de los aminoácidos descritos.

El sabor amargo del cacao se debe a la presencia de polifenoles que en el cotiledón sin fermentar se encuentra entre 10 – 20 % en base seca. Los principales polifenoles que se identifican en semillas frescas son: antocianinas, catequinas y epicatequinas. Las antocianinas proveen del color violeta a los cotiledones, pero durante la fermentación por ser solubles se pierden en el exudado de la pulpa (Wollgast y Anklam, 2000, pp. 428–429). En consecuencia al final de la operación se encuentran en bajas cantidades. Las catequinas no tienen

coloración violeta y son resistentes a los procesos térmicos realizados en la manufactura desde semillas de cacao hasta chocolate.

Tabla 1.7. Compuestos aromáticos obtenidos a partir de aminoácidos libres hidrofóbicos

Aminoácido	Aldehídos	Ácidos	Alcoholes	Ésteres
Alanina	Acetaldehído	Acético	Etanol	Acetato de etilo
Valina	2-Metilpropanal	2-Metilpropanoico	2-Metil-1-propanol	Acetato de 2-metilpropil
Leucina	3-Metilbutanal	3-Metilbutanoico	3-Metil-1-butanol	Acetato de 3-metilbutil
Isoleucina	2-Metilbutanal	2-Metilbutanoico	2-Metil-1-butanol	Acetato de 2-metilbutil
Fenilalanina	Fenilacetaldehído, benzaldehído	Fenilacético, benzoico	2-Feniletanol, Bencílico	Acetato de feniletilo, acetato de benzil

(Ziegleder, 2009, p. 173)

Los alcaloides del cacao lo constituyen la teobramina y la cafeína que en semillas frescas corresponde a 2 – 3 % y 0,2 % respectivamente. Durante la fermentación estos porcentajes disminuyen (Rivera et al., 2012, pp. 10–11).

1.3.3 EFECTO DEL SECADO Y DE LA ALCALINIZACIÓN

El secado al sol conserva mejor las propiedades antioxidantes y organolépticas en las semillas de cacao que el secado artificial (Hii, Law, Cloke, y Suzannah, 2009, p. 160). Durante el secado se desarrollan terpenoides y se producen dos fases de las reacciones de Maillard: la formación de compuestos Amadori y la degradación de Strecker. Estas etapas consumen una parte de aminoácidos libres y azúcares reductores (Ortiz, Graziani, y Rovedas, 2009, pp. 121, 124–125; Rodriguez et al., 2012, pp. 280–282).

Se evapora el agua y se volatilizan los ácidos carboxílicos de cadena corta, en consecuencia se obtiene una humedad más baja y menor acidez. La oxidación de polifenoles por acción de la enzima polifenoloxidasa ayuda a disminuir el amargor y contribuye al cambio de color de las semillas de violeta a café. El desarrollo de

terpenoides requiere linalol, cuya concentración es de 0,5 – 2 mg/kg en cacao fino (Jinap y Thien, 1994, p. 69).

La concentración de compuestos Amadori se encuentra entre 0,2 – 0,7 % en base seca al finalizar el secado. Lamentablemente estos componentes no se detectan por un cambio de color o una aparición de olor. Los compuestos Amadori son reversibles, sin embargo solo el 10 % regresa a su estado inicial durante el tostado (Giacometti, Jolic, y Josic, 2015, p. 609).

La formación de estos compuestos consume aminoácidos como: treonina, serina, valina, alanina, isoleucina, leucina, y fenilalanina (Bertazzo, Comai, Brunato, Zancato, y Costa, 2011, pp. 94–96). Después de la unión del aminoácido con la glucosa, el azúcar se trasforma en fructosa, y en esta forma se le considera un compuesto Amadori. La transformación final de los compuestos Amadori a componentes de aroma requiere de procesos de secado en planta o tostado suave a temperaturas entre 90 – 120 °C (Brito, Galla, Cortelazzo, y Garcı, 2001, p. 285).

La degradación de Strecker requiere el enlace de aminoácidos hidrofóbicos y la parte dicarbonilo de los azúcares, para formar aldehídos, alcoholes o ácidos. Los alcoholes al pasar por esterificación con ácido acético, producen acetatos (Afoakwa, Paterson, Fowler, y Ryan, 2008, pp. 284–285).

La alcalinización ocasiona un cambio de color café oscuro a ligeramente más claro y de sabor por la disminución de la acidez y amargor. La disminución del amargor puede también deberse por la polimerización de polifenoles, que es otro efecto de la alcalinización. Varios autores afirman que el uso de álcalis previos al tostado de semillas de cacao ácidas, ayudan a mejorar el sabor de la pasta de cacao (Afoakwa, Paterson, Fowler, y Ryan, 2008, p. 848; González et al., 2012, pp. 321–322).

1.3.4 EFECTO DEL TOSTADO

Un buen tostado garantiza el desarrollo de los compuestos de olor y sabor a chocolate y la eliminación de microorganismos y ácidos volátiles que generan sabores amargos y ácidos. Investigadores recomiendan realizar un tostado inicial a temperatura de 100 °C para disminuir la humedad de 8 % a 4 %, porque el exceso agua puede generar rancidez, volatilizar compuestos de aroma o simplemente interferir con las reacciones de Maillard (Afoakwa, Paterson, Fowler, y Ryan, 2008, p. 845), luego se realiza el tostado tradicional entre 110 – 150 °C.

En la reacciones de pardeamiento no enzimático los reactantes son: azúcares reductores y aminoácidos libres; y los factores que influyen la velocidad de reacción son: humedad, pH y temperatura. Los azúcares reductores son la glucosa y la fructosa, de ellos en forma global mayor tasa de reacción posee la glucosa. La sacarosa debe disociarse en fructosa y glucosa para poder participar en la reacción (Redgwell, Trovato, y Curti, 2003, p. 516; Rohan y Stewart, 1965, pp. 208–209). El aminoácido libre que se consume con mayor rapidez es la histidina.

Una humedad entre 10 – 20 % favorece la velocidad de reacción, un incremento o disminución de agua, la perjudica. En medios ligeramente ácidos entre 5,5 - 6,5 existe una mayor velocidad de reacción, en cambio en medios alcalinos la tasa de reacción disminuye. La velocidad es lenta entre 20 – 40 °C, rápida entre 80 – 110 °C e instantánea entre 130 a 150 °C (Barreiro y Sandoval, 2006, p. 35; Herrera, Bolaños, y Lutz, 2003, pp. 19–20). En síntesis al variar las condiciones del medio se puede mejorar el rendimiento de las reacciones de Maillard. En la figura 1.10 se aprecia el esquema de la reacción de Maillard. En la representación se observa la formación de compuestos de olor, sabor y color, que según las condiciones del medio puede seguir diferentes mecanismos de reacción.

Existen varios mecanismos de reacción que siguen las reacciones de pardeamiento no enzimático (Maillard) de entre ellos destacaremos la formación de compuestos Amadori y la degradación de Strecker.

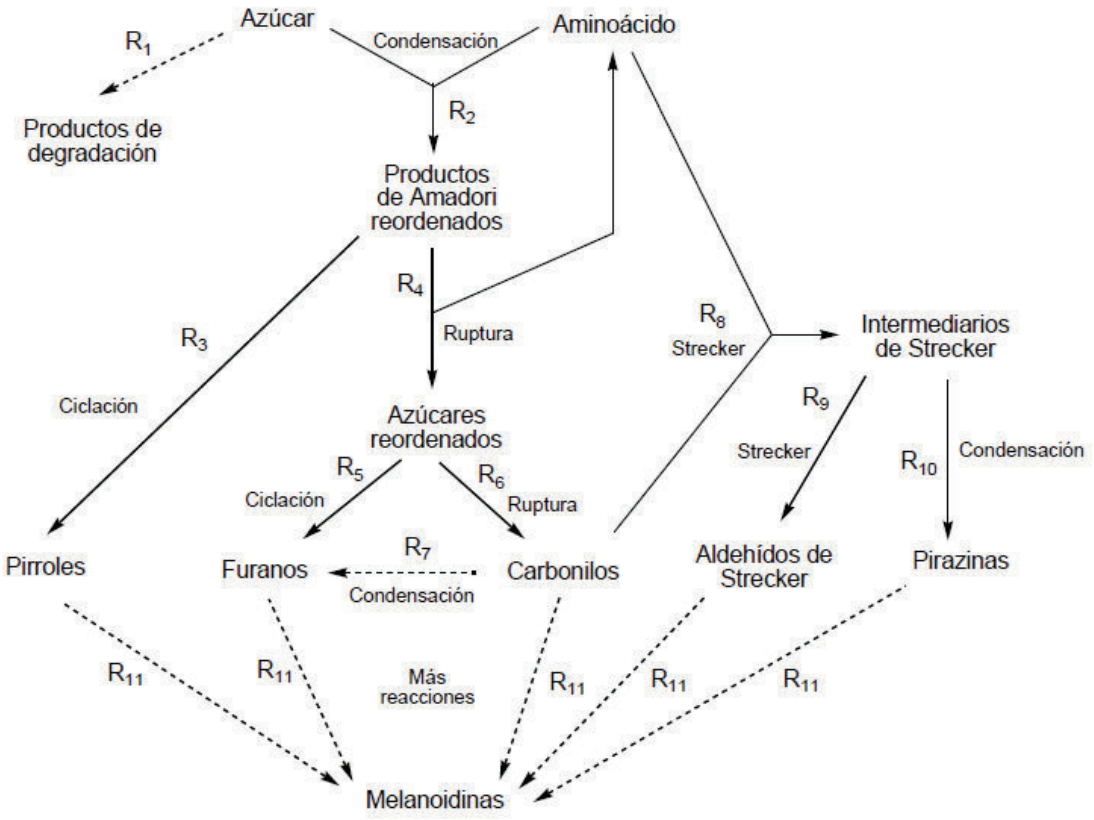


Figura 1.10. Esquema cinético simplificado de la reacción de Maillard
(Jousse, Jongen, Agterof, Russell, y Braat, 2002, p. 2538)

Los compuestos Amadori se forman a partir de la unión de aminoácidos libres y azúcares reductores, luego estos se polimerizan en forma cíclica y generan los pirroles. La degradación de Strecker requiere de dicarbonilos y aminoácidos libres para formar la base de Schiff. Seguido la base de Schiff se descarboxila para formar un enaminol (Afoakwa, Paterson, Fowler, y Ryan, 2008, pp. 845–848; Ziegleder, 2009, pp. 179–184). Al incorporase una molécula de agua y eliminar el residuo de aminoácido se produce un aldehído, y es este aldehído que forma compuestos de olor o sabor en el chocolate como pirazinas y melanoidinas respectivamente.

En forma general, la deshidratación de azúcares forma furanos, pironas, ciclopentenos, y ácidos y la degradación de aminoácidos produce los aldehídos de Strecker y compuestos con azufre (Christine Counet et al., 2004, p. 6246; Misnawi, Jinap, Jamilah, y Nazamid, 2004a, pp. 74–79). Las moléculas antes

descritas se polimerizan en forma cíclica para dar origen a los compuestos de olor como pirazinas mientras la forma lineal genera melaninas que contribuyen al color y sabor característico del chocolate.

Solo el 25 % de aminoácidos libres y el 70 % de azúcares reductores son consumidos, pese a que la composición de las semillas secas fermentadas composición en base seca es 1 – 2 % y 0,6 % respectivamente (Reineccius, Andersen, Kavanagh, y Keeney, 1972, p. 200).

El grupo de epicatequinas representan el principal antioxidante que presenta el cacao. Investigaciones revelan que las epicatequinas en presencia de oxígeno tienden a polimerizarse en 2 o más unidades (las epicatequinas polimerizadas toman el nombre de proantocianina), y que las epicatequinas y proantocianinas dímero y proantocianinas trímero son solubles y amargas (Noor-Soffalina, Jinap, Nazamid, y Nazimah, 2009, p. 178). Las moléculas formadas a partir 4 o más epicatequinas pierden su solubilidad en agua y amargor. Algunos polifenoles solubles son reactantes de las reacciones de pardeamiento no enzimático o Maillard, por tanto el cambio de color de los cotiledones durante la fermentación de violeta a café claro puede indicar el consumo de los antioxidantes (Hii, Law, Suzannah, Misnawi, y Cloke, 2009, pp. 709–711; Kothe, et al., 2013, p. 3662).

Estudios han demostrado que un tratamiento previo con 1 % de glucosa, incrementa la degración de Strecker, así como la adición de 15 % de agua, calentamiento a 40 °C por 15 minutos y finalmente un secado hasta 3,5 % de humedad aumenta los compuestos de olor y sabor a chocolate (Rohan y Stewart, 1965, p. 208). La alcalinización favorece el consumo de aminoácidos libres hasta un 80 %. En consecuencia el agua ayuda a disolver los precursores (aminoácidos y azúcares), la adición de azúcares reductores y el cambio de pH va a favorecer la disponibilidad de los precursores (Araujo et al., 2014, p. 52).

Existe una relación entre la temperatura y el tiempo de tostado. Un tostado a alta temperatura y bajo tiempo disminuye la acidez e incrementa los olores y sabores a chocolate (Misnawi, Jinap, Jamilah, y Nazamid, 2004b, pp. 405–408). Las

pirazinas por ejemplo requieren alta temperatura para su formación. Durante el tostado, el amargor puede disminuir por el consumo de alcaloides y aminoácidos, que pasan a formar aminoketonas y luego pirazinas (Oliviero, Capuano, Cämmerer, y Fogliano, 2009, pp. 149–152).

Se han identificado más de 600 compuestos de aroma, sin embargo es el consumidor quien define la calidad de la pasta de cacao (Afoakwa, Paterson, Fowler, y Ryan, 2008, pp. 850–852). La calidad organoléptica del cacao tostado es evaluada por catadores entrenados, estas personas pueden identificar el origen y los procesos por los cuales pasaron las semillas. En la figura 1.11 se observa un gráfico que define sabores de la pasta de cacao según operaciones unitarias, esto permite tener una noción de la interpretación de análisis sensoriales.

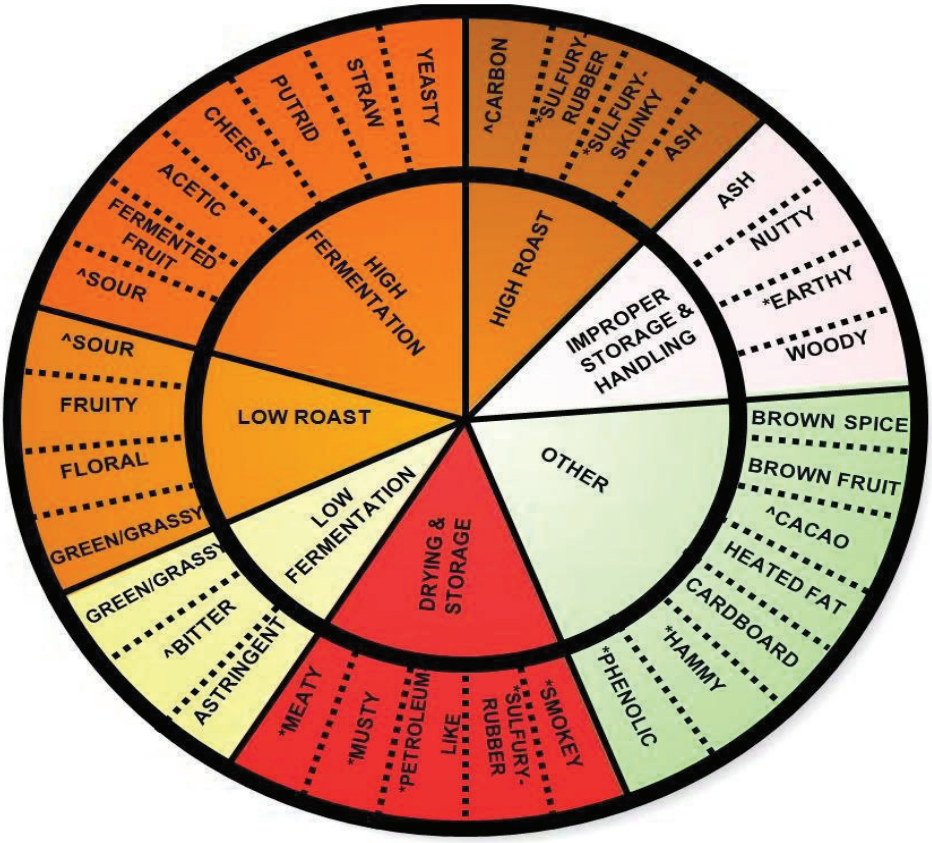


Figura 1.11. Gama de sabores de la pasta de cacao según las condiciones de operación en la fermentación, el secado y el tostado
(Reed, 2010, p. 4)

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIA PRIMA

Las muestras de semillas de cacao secas fermentadas de variedad nacional se obtuvieron en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Sucumbíos, correspondientes a dos regiones del Ecuador: Costa y Amazonía. En las ciudades capitales de las provincias se localizó la zona donde se encuentran los centros de acopio de cacao escogiendo el Comercial “Pacheco” para Santo Domingo y Comercial “La Unión” para Lago Agrio, ya que sus semillas de cacao cumplían con los requisitos de calidad estipulados en la norma INEN 176 (2012). Se adquirió aproximadamente 40 kg de cada procedencia. Después las semillas de cacao secas fermentadas se empacaron en sacos de polietileno, para su traslado en un vehículo liviano con cubierta hasta la ciudad de Quito. Se tardó 8 horas la muestra de Lago Agrio y 3 horas la muestra de Santo Domingo en llegar hasta del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Los sacos de semillas de cacao se almacenaron a temperatura de refrigeración (4°C) sobre gavetas de polietileno.

2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LAS SEMILLAS DE CACAO

2.2.1 ANÁLISIS FÍSICO

Los análisis físicos que se presentan a continuación se realizaron a las semillas de cacao secas fermentadas de la procedencia Santo Domingo y Lago Agrio. Con base en la norma INEN 177 (1995), se tomó una muestra aleatoria.

2.2.1.1 Largo, ancho y espesor

Se tomó 100 semillas de cacao enteras y se midió el largo, ancho y espesor en la parte central de cada semilla con el calibrador INSIZE, modelo 1223, 15 cm, 0,25 mm. Se reportó el valor medio de las medidas en cm (Bart-Plange y Baryeh, 2003, p. 221).

2.2.1.2 Peso

Se contó 100 semillas de cacao enteras y luego a este conjunto de semillas se las peso en la balanza METTLER, modelo PE3600, 3600 g, 0,01 g. Se realizaron 3 repeticiones del peso en g (Steverson, Corven, y Villanueva, 1993, p. 19).

2.2.1.3 Porcentaje de cascarilla

Se descascarilló manualmente 50 semillas de cacao enteras, luego se pesó por separado los cotiledones y cascarilla en la balanza analítica METTLER TOLEDO, modelo AG204, 210 g, 0,1 mg. Se realizaron 3 repeticiones. Finalmente se calculó el porcentaje de cascarilla según la fórmula 2.1 (Steverson et al., 1993, p. 20):

$$\%C = \frac{Pc}{Pc + Pco} \qquad [2.1]$$

Donde:

%C: Porcentaje de cascarilla (%)
Pc: Peso de cascarillas (g)
Pco: Peso de cotiledones (g)

2.2.1.4 Color

Se descascarilló manualmente alrededor de 20 semillas de cacao y se trituró los cotiledones. Sobre una hoja se agrupó la muestra de tal manera que no hubiese espacios vacíos. Se tomaron las medidas *L, a* y *b* en el sistema CIELAB con el colorímetro MINOLTA, modelo CR200. Se hicieron 3 repeticiones de este procedimiento. Además los valores de *L, a* y *b* se ingresaron en el programa Photoshop reproducir el color medido y compararlo con fotografías del cacao.

2.2.2 ANÁLISIS QUÍMICO

Los análisis químicos que se presentan a continuación se realizaron para las semillas de cacao secas fermentadas de ambas procedencias. Se tomó una muestra aleatoria (INEN, 1995, pp. 1–4) y se trituraron con su cáscara excepto en la cuantificación de polifenoles totales que se efectuó sin cáscara.

2.2.2.1 Humedad

Se utilizó el método AOAC (2005) 931.04 como referencia. En la balanza analítica CITIZEN, modelo CX220, 220 g, 0,1 mg, se pesó una caja Petri limpia y seca (con tapa), luego se colocó en la caja aproximadamente 5 g de las semillas trituradas. Se precalentó la estufa MEMMERT a 100 °C para colocar la caja destapada con muestra. Trascurrido 4 horas se apagó la estufa y se colocó la muestra en un desecador, luego de media hora se tomó el peso. Se realizaron 3 repeticiones. Por último se calculó el porcentaje de humedad siguiendo la fórmula 2.2 (INEN, 1989a, p. 2).

$$\%H = \frac{m1 - m2}{m1 - m0} \times 100 \qquad [2.2]$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad en base húmeda (%)
m0: Peso de la caja Petri con tapa (g)
m1: Peso de la caja Petri con tapa y muestra húmeda (g)
m2: Peso de la caja Petri con tapa y muestra seca (g)

2.2.2.2 Grasa total

Se empleó el método AOAC (2005) 963.15 como referencia. Se pesó alrededor de 5 g de la muestra en un vaso de precipitación de 250 mL. Se añadió 45 mL de agua destilada hirviendo y 55 mL de ácido clorhídrico, 8M, MERCK y se colocó un vidrio reloj encima del vaso. En la plancha de calentamiento COLE PARMER, modelo 4817, se dejó hervir a la muestra por 15 minutos. Seguido se filtró la muestra en un embudo con papel filtro de 9 µm y se enjuagó con agua destilada el vaso de precipitación y el vidrio reloj dejando caer el agua sobre el papel filtro. En adelante la muestra correspondió a los sólidos que quedaron en el papel. A la muestra se le realizaron los enjuagues con agua destilada necesarios a fin de eliminar los cloruros. Para determinar la presencia de cloruros, se añadió al filtrado unas gotas de nitrato de plata 0,1M, MERCK, si este se torna blanquecido contiene cloruros. La muestra libre de cloruros se colocó en la estufa a 100 °C durante 16 horas.

Completado el secado se colocó a la muestra en las cápsulas, VELP de extracción de grasa. Se pesó el vaso de extracción con un núcleo de ebullición y se colocó en él la cápsula de extracción con la muestra y 50 mL de éter de petróleo, 50 %, MERCK. Se ubicó el vaso en el extractor de grasa, VELP SCIENTIFICA, modelo SER-148, y se siguieron los pasos descritos por el fabricante. Concluida la extracción se retiró la cápsula de extracción y se trasladó el vaso con la grasa extraída a la estufa a 100 °C para eliminar residuos de reactivos. Se anotó el peso de la grasa cuando su valor fue constante. Se repitió

el proceso una vez. Al final se calculó el porcentaje de grasa total con la fórmula 2.3 (INEN, 1989b, p. 3).

$$\%G = \frac{m1 - m0}{m2} \times 100 \qquad [2.3]$$

Donde:

%G: Porcentaje de grasa en base húmeda (%)
m0: Peso del recipiente extractor con el núcleo de ebullición (g)
m1: Peso del recipiente extractor con el núcleo de ebullición y grasa extraída (g)
m2: Peso de la muestra (g)

2.2.2.3 Azúcares

Se usó el método AOAC (2005) 980.13 como referencia. En un matraz de aforo de 50 mL se colocó aproximadamente 5 g de la muestra, se añadió 30 mL de acetato de nitrilo 70 % v/v, MERCK, fase móvil y se aforó. Se transfirió parte del sobrenadante a un tubo de ensayo, se centrifugó a 5 °C y 4000 rpm durante 8 minutos y se filtró en la membrana de nylon de 0,45 µm, MICROPORE, obteniendo el extracto de la muestra.

Luego se preparó los estándares de 10, 25, 50, 80, y 100 ppm de fructosa, glucosa y sacarosa de SIGMA ALDRICH, en un matraz de aforo de 5 mL con 3 mL de fase móvil. Se encendió el cromatógrafo líquido de alta definición SHIMADZU, modelo SPD-10AV, se colocó la columna Alltec de 5 µm, 250 mm × 4,6 mm, se purgó el aire de la fase móvil con helio grado 4.1, LINDE, y se ajustó el caudal a 1mL/min y a una presión de alrededor de 100 bar. Se corrió los estándares y el extracto de la muestra por el cromatógrafo, obteniendo las áreas correspondientes a los estándares y extracto de la muestra. El Anexo I detalla los cálculos necesarios para obtener la cuantificación de los azúcares de la muestra en mg/100g. Se realizó una repetición del procedimiento.

2.2.2.4 pH

Se tomó el método AOAC (2005) 970.21 como referencia. En un vaso de precipitación de 250 mL se pesó cerca de 5 g de las semillas trituradas, seguido se añadió 45 mL de agua destilada hirviendo, se dejó enfriar y se filtró por un papel de 9 µm. En el filtrado se sumergió el electrodo previamente calibrado del pHmetro, CONSORT, modelo C832. Al observar estabilidad en la lectura de pH se anotó el resultado. Se repitió este proceso 3 veces.

2.2.2.5 Acidez titulable

Se utilizó como referencia el método AOAC (2005) 942.15. Una vez que se ha realizado el proceso descrito en el acápite anterior, se procedió a titular el filtrado con una bureta, 25 mL, 0,05 mL que contiene hidróxido de sodio, 0,1 M, MERCK, hasta pH 8,2. Se homogenizó la muestra titulada con el agitador magnético COLE PARMER, modelo PS61069X1, y cuando se estabilizó la medida de pH se anotó el volumen gastado. Se realizó este proceso 3 veces. Se calculó la acidez titulable de la muestra, mediante la fórmula 2.4 (Steverson et al., 1993, p. 28).

$$AT = \frac{Vg \times N}{m} \times 100 \qquad [2.4]$$

Donde:

AT: Acidez titulable (meq/100g)
Vg: Volumen gastado de hidróxido de sodio (mL)
N: Normalidad de la solución de hidróxido de sodio (eq/L)
m: Peso de la muestra (g)

2.2.2.6 Polifenoles totales

Se empleó el procedimiento de Slinkard y Singleton (1977) para determinar la cantidad de polifenoles totales y la metodología seguida por Georgé, Brat, Alter y Aminot para retener vitamina C (2005). Se descascarillaron 5 semillas de cacao y se trituró solo los cotiledones. En un frasco ámbar se pesó aproximadamente 2 g de la muestra, se agregó 10 mL de acetona, 70 % v/v, J. T. BAKER, se colocó un agitador magnético y se tapó con parafilm. Se agitó la muestra a 500 rpm durante 10 minutos en el agitador VARIOMAG, modelo Multipoint HP, se homogenizó en baño ultrasónico, BRASON, modelo 3210, por 10 minutos y nuevamente se agitó. Se filtró y se enjuagó el frasco ámbar con 2 mL de acetona que después de ser agitado pasó por el mismo papel filtro de 9 µm. Al filtrado se le llamó extracto cetónico y se midió su volumen en una probeta 10 mL, 0,1 mL.

Seguido se preparó los estándares de 10, 25, 50, 75 y 100 ppm de ácido gálico, SIGMA ALDRICH. Se acondicionó el cartucho, OASIS HLB con 3 lavados de 3 mL de metanol, 99,9 %, SIGMA ALDRICH, y 2 lavados con 3 mL de agua destilada. Se diluyó 500 µl del extracto en 3500 µl de agua destilada, se tomó 2 mL de extracto diluido para filtrarlo por el cartucho acondicionado, se enjuagó el cartucho con 2 mL de agua destilada que se incorporó al filtrado, a este líquido se le llamó extracto de vitamina C. Se colocó cada una de las muestras que se describen a continuación en un tubo de ensayo: 2 muestras de 500 µl de agua destilada, 2 muestras de 25 µl de acetona 70 % v/v y 475 µl de agua destilada, 2 muestras de 500 µl de extracto de vitamina C, 3 muestras de 25 µl de extracto cetónico y 475 µl de agua destilada y 1 muestra de 500 µl de cada estándar de ácido gálico. A cada tubo de ensayo se le agregó 2,5 mL de Folin-Cioclateu's, 10 % v/v, SIGMA ALDRICH y se agitó en el vortex, IKA, modelo Genius 3, se dejó reposar por 2 minutos, luego se agregó 2mL de carbonato de sodio, 75 g/l, MERCK, y se agitó en el vortex.

Finalmente se colocó a todos los tubos de ensayo en el baño maría, PRECISION SCIENTIFIC, modelo 25, a 50 °C por 15 minutos, después se enfrió a los tubos de ensayo en un baño de hielo y se midió la absorbancia de cada tubo de ensayo a

760 nm en el espectrofotómetro, LABOMED, modelo UVD-2960, previamente encerado. Durante el procedimiento se usaron las micropipetas THERMO ELECTRON, 0,5 - 5 mL, 100 µl y EPPENDORT RESEARCH, 100 µl, 1 µl. En el Anexo II se presenta la metodología para calcular la cantidad de los polifenoles totales. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico por cada g de muestra (mgAG/g)

2.3 PROCESAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE CACAO

Para el procesamiento de las semillas de cacao se utilizó un diseño factorial 2 × 5 con una repetición. Los factores correspondieron a la procedencia y al tratamiento con solución acuosa. Para la procedencia se escogió los cantones: Santo Domingo y Lago Agrio. Los tratamientos aplicados fueron: sin solución acuosa, hidratación hasta el 20 % de humedad, hidratación al 20 % y adición de glucosa, MERCK, al 1 % respecto al peso en base seca de las semillas, hidratación al 20 % y adición de carbonato de potasio, MERCK, hasta alcanzar pH 8, e hidratación al 20 %, adición de glucosa al 1 % y carbonato de potasio hasta pH 8. En la tabla 2.1 se codifica los tratamientos de todo el diseño.

Tabla 2.1. Codificación de los tratamientos empleados en el diseño experimental

Código	Procedencia	Tratamiento*
BL	Lago Agrio	Sin solución
1L		Agua
2L		Agua + 1 % Glucosa
3L		Agua + 1,22 % Carbonato de Potasio
4L		Agua + 1 % Glucosa + 1,22 % Carbonato de Potasio
BS	Santo Domingo	Sin solución
1S		Agua
2S		Agua + 1 % Glucosa
3S		Agua + 2,09 % Carbonato de Potasio
4S		Agua + 1 % Glucosa + 2,09 % Carbonato de Potasio

*Porcentaje calculado en función del peso en base seca de las semillas de cacao

El detalle del modelo matemático empleado en el diseño experimental se muestra en el Anexo III.

Un resumen del procesamiento de semillas de cacao se presenta en la figura 2.1. En los siguientes dos acápites se explica el detalle de cada operación unitaria que comprende el monitoreo, materiales y equipos utilizados, entre otros.

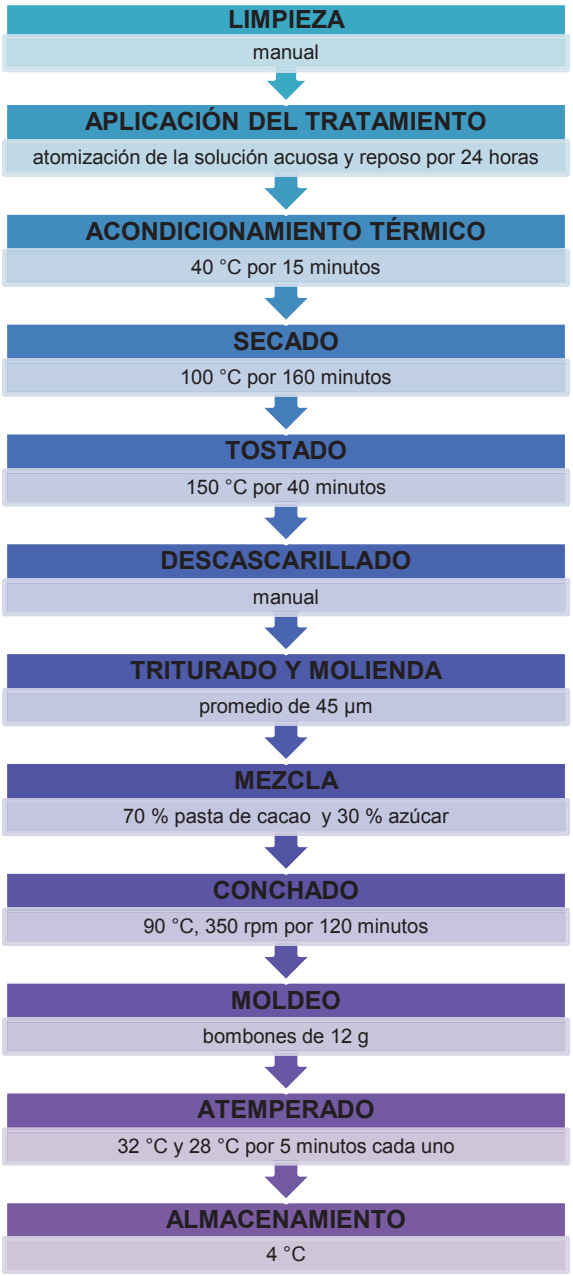


Figura 2.1. Diagrama de bloques del procesamiento de semillas de cacao

2.3.1 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS A LAS SEMILLAS DE CACAO

Se limpiaron manualmente las semillas de ambas procedencias, luego se tomó una muestra de 2,8 kg para aplicar cada tratamiento. Se atomizó la solución acuosa sobre las semillas en un recipiente con tapa hasta el peso necesario para alcanzar 20 % de humedad. Se dejó reposar la muestra durante 24 horas a condiciones ambientales y se removió las semillas a las 4 horas y 20 horas a partir de la atomización. Después se colocó a las semillas sobre cuatro bandejas de malla metálica (alrededor de 0,85 kg en cada una), y se trasladaron a las bandejas a la estufa, BLUE, modelo OV-500C-2, precalentada a 50 °C, se utilizó dos sensores de la termocupla, EXTECH, modelo EA-15, para monitorear la temperatura de la semilla (a 5mm de profundidad desde la superficie), y la temperatura del aire caliente. Se acondicionaron térmicamente las semillas a 40 °C por 15 minutos (al alcanzar la semilla 39 °C, corrió el tiempo). Luego se secaron las semillas a 100 °C por 160 minutos (al alcanzar la semilla 90 °C, empezó el tiempo). Después se tostaron las semillas a 150 °C por 40 minutos (se contó el tiempo desde que la semilla alcanzó 125 °C). Finalmente se colocó las bandejas en un área seca para conseguir que las semillas se enfriaran hasta temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C).

2.3.2 OBTENCIÓN DE LA PASTA DE CACAO Y DEL CHOCOLATE NEGRO

Se descascarillaron las semillas manualmente. Se trituraron en el desintegrador de cuchillas, RIETZ, modelo RP-8-K115, se molieron en el molino de martillos, ALPINE, modelo 160 UPZ, y se enfrió a temperatura ambiente para obtener pasta de cacao. Se colocó 0,7 kg de pasta de cacao en un recipiente de acero inoxidable y se fundió en el baño maría, BLUE, modelo MW-1120A-1, a 90 °C aproximadamente. Se agregaron 0,3 kg de azúcar pulverizada y se mezcló con la batidora de mano, SUNBEAM, modelo 2526. Se conchó en la estufa con un agitador de paletas, FISHER, modelo Dyna-Flix a 90 °C y 350 rpm por 120 minutos. Durante el conchado se monitoreó la temperatura del chocolate con termocupla COLE PARMER, modelo 800-323-4340 y con el medidor de

revoluciones, PCE, modelo DT-65. Se moldeo el chocolate negro en recipientes para bombones de 12 g. Se atemperó los bombones enfriando hasta 25 °C por 5 minutos y calentando a 32 °C por 5 minutos y enfriando nuevamente a 4 °C. Se empacó las muestras de pasta de cacao y chocolate negro en fundas de polietileno trasparente recubiertas con papel aluminio, papel y otra funda de polietileno oscura. Se almacenaron las muestras a temperatura de refrigeración (4 °C). Se realizó una repetición de todo el diseño experimental. Además se calculó el rendimiento que tuvieron todas las operaciones unitarias en porcentaje, tomando el peso de la materia que entra y sale. En el Anexo IV se presentan algunas fotografías del procesamiento de las semillas de cacao hasta convertirlas en pasta de cacao y chocolates negros.

2.3.3 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE LAS PASTAS DE CACAO OBTENIDAS

Se consideró como análisis físico a la evaluación de las coordenadas de color de las pastas de cacao obtenidas a partir de la aplicación de diferentes tratamientos. El procedimiento para tomar esta medida se detalla en el acápite 2.2.1.4.

Además, en las pastas de cacao obtenidas se realizaron los siguientes análisis químicos: humedad, pH, acidez titulable y polifenoles totales. La metodología para determinar estos valores se detallan acápite 2.2.2.

Para la evaluación sensorial se entrenó a 20 panelistas con muestras comerciales de chocolate negro mediante la identificación de los siguientes parámetros: olor y sabor a chocolate, acidez, amargor, olor y sabor extraño. Se realizó un análisis sensorial de ordenamiento a los chocolates negros correspondientes a cada tratamiento, en un diseño de bloques incompletos balanceados de: 10 bloques, 3 muestras por bloque y 3 repeticiones. Cada muestra de 6 g de chocolate triturado se enumeró con 3 cifras al azar. Los panelistas calificaron los parámetros antes mencionados en una escala de 10 cm, en la cual los extremos de izquierda a

derecha representaron intensidad débil y fuerte. El formato de evaluación que se utilizó se muestra en el Anexo V.

El análisis estadístico se realizó en el programa Statgraphics versión 16.1 para Windows, donde se analizó las variables de respuesta mediante el estudio de las medias por el método de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

2.3.4 SELECCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO

Se seleccionó como el mejor tratamiento para cada procedencia a las pastas con mayor: medida de color café oscuro, pH, acidez titulable, polifenoles totales y olor y sabor a chocolate. La metodología efectuada para obtener las medidas se encuentra en el acápite anterior, 2.3.3.

2.3.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y SENSORIAL DE LAS PASTAS DE CACAO SELECCIONADAS

Además de los resultados obtenidos en el anterior acápite, a las dos pastas de cacao se les realizó los análisis de: grasa total y azúcares con los métodos descritos en el acápite 2.2.2.2 y 2.2.2.3, respectivamente.

2.4 DISEÑO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO

Se diseñó el área de producción de pasta de cacao con base a los datos de capacidad y microlocalización provistos por el convenio “Fortalecimiento de la Cadena Agroproductiva del Cacao, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas” e información del Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP). En cada proceso se estableció como condiciones de operación

y rendimiento entre ellas, a las usadas y obtenidas del procesamiento de las semillas en la presente investigación. Se determinó la capacidad de los equipos con un sobredimensionamiento de 1,25 y estimando un trabajo de 8 horas diarias de lunes a viernes. Se escogió los equipos vía catálogo. Se consideró entre uno a dos operarios por equipo, según la dificultad del proceso. Se estableció que el producto terminado sea pasta de cacao empacada en cajas de 30 kg con fundas de polietileno. Se realizó una distribución de equipos en forma de “u” modificada. Se realizó el diagrama de flujo del proceso (PFD) y la distribución en planta (LAYOUT).

2.5 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO

Sobre la base del diseño del área de producción de pasta de cacao, se determinó los costos de implementación y producción mensual considerando 20 días laborables. Para el costo de implementación se sumó el costo de la obra civil y el costo de los equipos del área de producción. Se estimó que la obra civil del área de producción sea 12 mil dólares y el costo de los equipos se determinó en base a cotizaciones. Para el costo de producción se calculó el valor generado por: materia prima e insumos, mano de obra, suministros industriales, mantenimiento (3 % del costo total de los equipos), depreciación de equipos para 15 años e imprevistos (1 % valor mensual de materia prima e insumos). El costo de la materia prima, insumos y suministros industriales se calculó en función del balance de masa y energía del área de producción. Se determinó el costo unitario de una caja de 30 kg de pasta de cacao y el precio de venta al público con una utilidad del 25 %.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LAS SEMILLAS DE CACAO

En este subcapítulo se presentan los resultados de la caracterización física y química de las semillas de cacao de las procedencias de Lago Agrio y Santo Domingo. Además se realiza una comparación de las características físicas y químicas de las semillas de cacao antes mencionadas con las dadas por otros autores. En la caracterización se utilizaron alrededor de 4 mil semillas de cacao.

3.1.1 ANÁLISIS FÍSICO

Los valores obtenidos de los análisis de largo, ancho, espesor, peso de 100 semillas, porcentaje de cascarilla y color en coordenadas *L, a, b*, se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características físicas de las semillas de cacao

Característica física		Lago Agrio	Santo Domingo
Largo (cm)*		23,74 ± 1,97	25,23 ± 1,98
Ancho (cm)*		13,66 ± 1,21	13,98 ± 1,25
Espesor (cm)*		8,77 ± 1,29	8,40 ± 1,12
Peso de 100 semillas (g)		147,75 ± 3,91	172,01 ± 4,10
Porcentaje de Cascarilla (%)		10,87 ± 0,17	10,35 ± 0,63
Color	*L*	34,73 ± 0,86	30,81 ± 0,54
	a	15,24 ± 0,15	25,02 ± 0,69
	b	18,43 ± 0,31	7,30 ± 0,20

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); * $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 100); n: número de repeticiones

De la tabla se puede apreciar que las desviaciones estándar de las características físicas fueron bajas, en consecuencia los resultados son confiables. El porcentaje más alto de las desviaciones estándar se encontró en el tamaño de las semillas entre 7,8 – 14,7 %, el límite superior del rango hace referencia al espesor y el límite inferior pertenece a largo de la semilla, probablemente este resultado se debe a una falta de asimilación de nutrientes por parte de la planta. La desviación estándar de parámetros restantes se situaron entre 1,0 – 2,8 %, sin embargo el error del porcentaje de cascarilla de Santo Domingo es considerable y correspondió a 6,1 %, esto podría deberse a un error en la experimentación.

El largo y ancho de las semillas de Santo Domingo fue mayor al de Lago Agrio por 6,3 % y 2,3 %, respectivamente, mientras el espesor de las semillas de Lago Agrio fue superior por 4,4 % al de Santo Domingo. De ello se puede concluir que las semillas de ambas procedencias tuvieron similar tamaño, debido a que apenas la medida del largo reportó porcentaje mayor a 5.

En la tabla 3.2 se presentan las dimensiones de las semillas de cacao de varias investigaciones. El tamaño de las semillas de la presente investigación fue superior a las medidas de las semillas ecuatorianas de variedad nacional EET 48 (Rangel 2009, p. 42) entre 7,9 – 56,6 %. Esto indicaría que en Lago Agrio y Santo Domingo se desarrollan mejor las plantaciones de cacao que en Quevedo.

Las dimensiones de las semillas de cacao de otros países en la tabla 3.2 se encuentran entre 21,2 – 26,0 mm de largo, 11,8 – 14,6 mm de ancho y 5,6 – 12,3 mm de espesor, las semillas de ambas procedencias se acercan por debajo del límite superior del intervalo de las medidas de largo y ancho pero a la mitad del rango de espesor.

Retomando el análisis de la tabla 3.1 el peso de 100 semillas de la procedencia de Santo Domingo fue mayor al peso de las de Lago Agrio por 16,4 %. Según la norma INEN 176 (2012) el peso de 100 semillas es más alto para las variedades arriba y CCN-51, con valores entre 135 – 140 g, entonces los valores obtenidos para ambas procedencias superan estos parámetros, que es positivo.

Tabla 3.2. Resumen de investigaciones sobre las dimensiones de semillas de cacao

Procedencia	Tratamientos Poscosecha	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Referencia
Costa Rica, trinitario	F. cajón S. sombra	26,00	14,60	7,40	Rangel (2009, p. 42)
Ecuador, Quevedo, nacional, EET 48	F. cajón S. sombra	22,00	12,20	5,60	Rangel (2009, p. 42)
Ghana, Kumasi, forastero	F. montón S. Horno	22,41	12,64	7,40	Bart-Plange y Baryeh (2003, p. 223)
México, criollo	F. cajón S. sombra	23,00	12,90	5,90	Rangel (2009, p. 42)
Perú, forastero	F. cajón S. sombra	23,60	13,50	6,30	Rangel (2009, p. 42)
Venezuela, Bartovento, trinitario	F. cesta S. sol	23,60	11,80	12,30	Lares, Gutiérrez, Pérez, y Álvarez (2012, p. 442)
Venezuela, Curiepe, trinitario	F. cajón 5 días S. sol	24,80	13,40	9,50	Álvarez et al. (2010, p. 79,83)
Venezuela, Cuyagua, criollo	F. cesta S. sol	21,20	13,30	8,40	Álvarez, Pérez, y Lares (2007, p. 252,253)

F: fermentación, S: secado

Al correlacionar el tamaño y el peso de las semillas, se comprueba que a mayores dimensiones de largo y ancho, mayor peso.

En la tabla 3.3 se resumen los resultados de investigaciones sobre el peso de 100 semillas. El cacao ecuatoriano tuvo un peso de 100 semillas entre 129,18 - 139,59 g. Al comparar el intervalo antes expuesto con el peso en 100 semillas del presente estudio, se determinó que las medidas de las semillas de Lago Agrio y Santo Domingo se encuentran a 5,8 % y 23,2 % por encima del límite superior del intervalo, respectivamente. El que las semillas de este estudio hayan superado el valor reportado de otras semillas Ecuatorianas para este parámetro, se traduce en cacao con características deseables.

De la misma tabla se puede obtener el rango del peso de 100 semillas de otros países, el cual es 112,50 – 157,45 g. En este caso solo las semillas de Lago Agrio

se encuentran cercanas al límite superior del intervalo, mientras que las semillas de Santo Domingo están 9,2 % por encima del límite superior del rango.

Tabla 3.3. Resumen de investigaciones sobre el peso de 100 semillas y el porcentaje de cascarilla de semillas de cacao

Procedencia	Tratamientos Poscosecha	Peso de 100 semillas (g)	Porcentaje de Cascarilla (%)	Referencia
Ecuador, Colón Eloy, criollo	F. cajón 5 días S. sol	136,00	16,68	Palacios (2008, p. 172)
Ecuador, nacional	F. cajón 5 días S. sol	136,00	16,93	Palacios (2008, p. 172)
Ecuador, Pichilingue, Criollo	F. cajón S. sol	139,59	12,55	Sánchez (2007, p. 44)
Ecuador, Pichilingue, Nacional	F. cajón S. sol	129,18	12,25	Sánchez (2007, p. 44)
Ghana, Kumasi, forastero	F. montón S. Horno	112,50	16,13	Bart-Plange y Baryeh (2003, pp. 223, 225)
Venezuela, Bartovento, trinitario	F. cesta S. sol	132,00	14,21	Lares et al. (2012, p. 442)
Venezuela, Curiepe, trinitario	F. cajón 5 días S. sol	157,45	13,95	Álvarez et al. (2010, pp. 79, 83)
Venezuela, Cuyagua, criollo	F. cesta S. sol	120,00	15,00	Álvarez et al. (2010, pp. 252, 253)

F: fermentación, S: secado

La tabla 3.1 muestra que el porcentaje de cascarilla de las semillas de Lago Agrio fue 5,0 % superior al de las de Santo Domingo. Para ambas procedencias el porcentaje de cascarilla fue inferior al 15 %, que a nivel industrial es reconocido como un factor positivo porque acarreará menor desecho de materia prima en la cascarilla.

Según la tabla 3.3, las semillas ecuatorianas tuvieron entre 12,25 - 16,93 % de cascarilla. Las semillas de cacao de Lago Agrio y Santo Domingo se ubicaron a 11,3 % y 15,5 % respectivamente, por debajo del límite inferior del intervalo. Estos resultados son favorables para la comercialización de las semillas.

De la misma tabla se observa que el porcentaje de cascarilla de semillas de cacao de otros orígenes se ubicó entre 13,95 – 16,13 %. Las semillas de Lago Agrio y Santo Domingo se encontraron debajo del límite del rango a 22,1 % y 25,8 %, respectivamente.

Estos resultados permiten asegurar que las semillas de cacao de ambas procedencias tienen ventajas competitivas en el mercado internacional, porque proveen de mayor cantidad de pasta de cacao al tener mayor peso en 100 semillas y menor porcentaje de cascarilla, frente a otras semillas de Ecuador y de otros países.

En la figura 3.1 se puede apreciar el color dado por las coordenadas *L, a, b* y las fotografías de las semillas de ambos.

Figura 3.1. Color de las semillas de cacao

La coordenada *L* hace referencia a un color oscuro para ambas procedencias, mientras la medida de *a* se sitúa en rojo tenue para las semillas de Lago Agrio y rojo más intenso para la semillas de Santo Domingo; finalmente el valor de la coordenada de color *b* de Lago Agrio se acerca más a amarillo que el valor de la de Santo Domingo. Esto refleja que las semillas de Lago Agrio tienen un tono café marrón claro, y las de Santo Domingo presentan un color café ligeramente morado. El color de las semillas obedece al grado de fermentación y secado, la falta de fermentación genera color violeta y falta de secado produce color café claro. Entonces por la tonalidad de las semillas de cacao de variedad nacional se

deduce que las de Lago Agrio tienen deficiencias en el proceso de secado mientras las de Santo Domingo tienen problemas en la fermentación.

En la tabla 3.4 se muestra la síntesis de la determinación de las coordenadas de color *L, a, b* de semillas de cacao dada por otros autores.

Tabla 3.4. Resumen de investigaciones sobre las coordenadas de color en CIELAB de semillas de cacao

Procedencia	Tratamientos Poscosecha	*L*	*a*	*b*	Referencia
Malasia, Jengka, forastero	F. cajón 5 días S. sol	39,44	7,06	12,51	Hii, Law, Cloke, et al. (2009, p. 159)
Malasia, Jengka, forastero	F. cajón 5 días S. horno 70°C	38,35	7,61	10,02	Hii, Law, Cloke, et al. (2009, p. 159)
Venezuela, Cuyagua, criollo	F. cajón 5 días S. sol	40,05	7,71	5,78	Nogales, Graziani y Ortiz (2006, p. 13)
Venezuela, Cumboto, trinitario	F. cajón 4 días S. sol	41,30	4,93	5,72	Ortiz, Camacho y Graziani (2004, pp. 35, 39)
Venezuela, Cumboto, criollo	F. cajón 5 días S. sol	40,59	9,82	16,82	Ortiz et al. (2009, p. 121)
Santa Lucía, trinitario	F. cajón S. sol	32,05	15,65	14,33	Bonaparte, Alikhani y Madramootoo (1998, p. 555)

F: fermentación, S: secado

Las coordenadas de color de las investigaciones fluctúan entre 32,05 – 41,30 para *L*, 4,93 -15,65 para *a* y 5,72 – 16,68 para *b*. Al comparar los intervalos con los resultados de esta investigación se determinó que las coordenadas de las semillas de Lago Agrio se encuentran: *L* encima del límite inferior, *a* debajo del límite superior y *b* encima del límite superior a 10,5 %, mientras que las de Santo Domingo se ubican: *L* debajo del límite inferior a 3,9 %, *a* sobre el rango a 59,9 %, y *b* está encima del límite inferior.

La mayoría de las características físicas de las semillas de Lago Agrio y Santo Domingo reportadas en el presente estudio, se encontraron dentro de lo establecido por otros autores, a excepción del porcentaje de cascarilla que se ubicó por debajo del intervalo, aunque esto es un factor positivo.

3.1.2 ANÁLISIS QUÍMICO

En la tabla 3.5 se indican las medidas encontradas en los análisis de: humedad, grasa total, azúcares, pH, acidez titulable y polifenoles totales realizados a las semillas de cacao de Santo Domingo y Lago Agrio, en base seca (b. s) y húmeda (b. h.).

Tabla 3.5. Características químicas de las semillas de cacao

Característica	Base húmeda		Base seca	
	Lago Agrio	Santo Domingo	Lago Agrio	Santo Domingo
Humedad (%)	10,61 ± 0,23	8,32 ± 0,01	11,87 ± 0,25	9,07 ± 0,01
Grasa total (%)	43,89 ± 0,11	40,66 ± 0,15	49,10 ± 0,13	44,34 ± 0,16
Sacarosa (mg/100g)	45,27 ± 1,39	27,24 ± 0,76	50,65 ± 1,55	29,71 ± 0,83
Fructosa (mg/100g)	286,38 ± 19,20	158,99 ± 14,52	320,37 ± 21,48	173,41 ± 15,84
Glucosa (mg/100g)	3 764,19 ± 177,60	2 598,82 ± 201,54	4 210,98 ± 198,68	2 834,50 ± 219,82
pH	5,10 ± 0,06	5,36 ± 0,01	5,10 ± 0,06	5,36 ± 0,01
Acidez (meq/100g)	7,97 ± 0,24	4,67 ± 0,07	8,91 ± 0,27	5,10 ± 0,07
Polifenoles totales (mgAG/g)*	36,10 ± 1,09	52,93 ± 2,55	40,39 ± 1,22	58,25 ± 3,46

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); * $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 3); n: número de repeticiones; AG: ácido gálico

Las desviaciones estándar de la tabla de mayor confiabilidad se encontraron entre 0,1 – 4,7 %, soló los errores en la determinación de glucosa y fructosa de las semillas de Santo Domingo que correspondieron a 7,8 % y 9,1 %, se consideraron medios, y estos pueden deber se a errores experimentales.

Según la norma INEN 176 (2012) la humedad de las semillas secas de cacao debe ser inferior al 8,0 % en b.h., requisito que ninguno de los orígenes lo cumplió. Las semillas de Lago Agrio sobrepasaron este valor por 32,6 % y al igual que las de Santo Domingo por 4,0 %. Es importante cumplir con la norma porque a baja humedad se disminuye el crecimiento de microorganismos que garantiza el mantenimiento de la calidad de las semillas durante el almacenamiento y

trasporte a la fábrica. Las semillas de cacao de Lago Agrio tuvieron 27,5 % mayor humedad en b.h. que las semillas de Santo Domingo.

En la tabla 3.6 se presenta las medidas de varias investigaciones sobre humedad de semillas de cacao. Las semillas de cacao ecuatorianas presentaron humedad en b.h. entre 5,95 - 8,00 % y semillas de otros países tuvieron valores de 5,11 – 8,00 %. Por tanto los valores de humedad del presente trabajo estuvieron fuera de este intervalo, probablemente debido a que el proceso de secado fue insuficiente.

Tabla 3.6. Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de humedad y la grasa total de semillas de cacao

Procedencia	Tratamientos Poscosecha	Humedad (% b.h.)	Grasa total (% b.s.)	Referencia
Colombia, Santander, trinitario	F. cajón 5 días S. sol	8,00	54,09	Acuña y Hernández (2010, p. 22)
Ecuador	F. cajón S. sol	5,95	43,45	Torres-Moreno et al. (2014, p. 127)
Ecuador, Colón Eloy, criollo	F. cajón 5 días S. sol	6,50	47,91	Palacios (2008, p. 184)
Ecuador, Echeandia, criollo, CCN-51	F. cajón S. sol	8,00	52,30	Bertazzo et al. (2011, p. 94)
Ecuador, Machala, CCN51	F. cajón S. sol	5,65	51,12	Villavicencio (2001, pp. 46, 62)
Ecuador, Nacional	F. cajón 5 días S. sol	6,50	46,62	Palacios (2008, p. 184)
Ecuador, Naranjal, Nacional	F. cajón S. sol	5,75	53,10	Villavicencio (2001, pp. 46, 62)
Ecuador, Quevedo, Nacional	F. cajón S. sol	6,26	52,87	Villavicencio (2001, pp. 46, 62)
Ghana	F. cesta S. sol	5,11	41,93	Torres-Moreno et al. (2014, p. 127)
Venezuela, Cumboto, criollo	F. cajón 5 días S. sol	5,20	57,47	Ortiz et al. (2009, p. 121)
Venezuela, Cuyagua, criollo	F. cesta S. sol	6,37	56,00	Álvarez et al. (2007, pp. 252, 253)

F: fermentación, S: secado, b.h.: en base húmeda; b.s.: en base seca

La grasa total en base seca de las semillas de cacao de Lago Agrio y Santo Domingo, es cercana al 50 %. Según Afoakwa (2010), el porcentaje de grasa en b.s. de semillas de cacao puede fluctuar entre 45 – 55 %. Los resultados de esta investigación se aproximan al límite inferior de este intervalo. La industria prefiere semillas con alto contenido de grasa porque la manteca de cacao es uno de los ingredientes más importantes en los chocolates. Las semillas de Lago Agrio tuvieron 10,7 % más grasa en b.s. que las semillas de Santo Domingo, por lo tanto estas tendrían una ventaja competitiva en el mercado.

Datos sobre grasa total en base seca de semillas ecuatorianas se muestran en la tabla 3.6. Los resultados de esta medida fluctuaron entre 43,45 - 53,10 %, al cual las semillas de cacao de Santo Domingo se situaron encima del límite inferior, mientras las semillas de Lago Agrio a la mitad del rango.

Además en la misma tabla se puede obtener el intervalo de la medida de grasa total de semillas de cacao de otros países que es 41,93 – 57,47 %. Este rango fue más amplio que el presentado para semillas ecuatorianas, en consecuencia se tuvieron conclusiones similares a las expuestas en el anterior párrafo.

En la tabla 3.5 también se aprecia el contenido de azúcares de las semillas de cacao de ambos orígenes. Asumiendo que las semillas de cacao solo contenían los azúcares cuantificados en la presente investigación se determinaron los siguientes porcentajes: 1,12 % de sacarosa, 6,99 % de fructosa y 91,90 % de glucosa para Lago Agrio y 0,98 % de sacarosa, 5,71 % de fructosa y 93,31 % de glucosa para Santo Domingo en mg/100g en b.s.

En ambas procedencias fue mayor la presencia de azúcares reductores que la de disacáridos en b.s. Las semillas de Lago Agrio tuvieron 50,8 % más azúcares en b.s. que las de Santo Domingo. Esto puede deberse a que las semillas de Lago Agrio recibieron un proceso adecuado de fermentación que no permitió que cantidades importantes de azúcares se drenen en el mucílago (Hashim et al., 1998, p. 548).

El resumen de resultados de otras investigaciones sobre la cuantificación de azúcares se presenta en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de azúcares de semillas de cacao

Procedencia	Tratamientos Poscosecha	Sacarosa (mg/100g b.s.)	Fructosa (mg/100g b.s.)	Glucosa (mg/100g b.s.)	Referencia
Brasil, Bahia	F. cesta S. sol	55,00	447,17	28,22	Reineccius et al. (1972, p. 200)
Costa de Marfil, forastero	F. cajón S. sol	155,00	280,00	79,50	Redgwell et al. (2003, p. 513)
Costa Rica, UF668, trinitario	F. cajón S. sombra	127,00	4,00	81,00	Rangel (2009, p. 63)
Ecuador, arriba	F. cesta S. sol	683,00	111,18	71,40	Reineccius et al. (1972, p. 200)
Ecuador, Guayas, CCN-51	F. cajón, S. sol	844,40	394,10	142,40	Pazmiño (2005, p. 60)
Ecuador, Guayas, trinitario EET-95	F. cajón S. sol	540,70	348,90	97,40	Pazmiño (2005, p. 59)
Ecuador, nacional	F. cesta S. sol	483,00	172,00	84,00	Redgwell et al. (2003, p. 513)
Ghana, forastero	F. cajón S. sol	158,00	419,50	62,00	Redgwell et al. (2003, p. 513)
Ghana, forastero	F. cesta S. sol	120,00	348,84	20,20	Reineccius et al. (1972, p. 200)
México, criollo	F. cajón S. sombra	59,00	7,00	108,00	Rangel (2009, p. 63)
Perú, Pound 7, forastero	F. cajón S. sombra	130,00	8,00	44,00	Rangel (2009, p. 63)

F: fermentación, S: secado, b.s.: en base seca

Las semillas cultivadas en Ecuador de la tabal 3.7 presentan valores en b.s. entre: 483,00 – 844,40 mg/100g para la sacarosa, 111,18 – 394,10 para la fructosa mg/100g y 71,4 – 142,40 mg/100g para la glucosa. Al comparar los intervalos antes mencionados con los valores encontrados en el presente estudio se determinó que las medidas de sacarosa de Lago Agrio y Santo Domingo están debajo del límite a 89,5 % y 93,9 %, respectivamente. En cambio la medida de

fructosa de ambas procedencias se encontró dentro del intervalo donde las semillas de Lago Agrio y Santo Domingo se acercan al límite superior e inferior, respectivamente. Finalmente la medida de glucosa se situó fuera del rango para ambas procedencias 29 veces por encima del límite superior para las semillas de Lago Agrio y 19 veces para las de Santo Domingo.

De la misma tabla se pueden obtener los siguientes intervalos de las medidas de azúcares en b.s. para semillas de cacao de diferentes países: 55,00 – 158,00 mg/100g para la sacarosa, 4,00 – 447,17 mg/100g para la fructosa y 20,20 – 108,00 mg/100g para la glucosa. La medida de sacarosa de ambas procedencias se ubicó debajo del límite inferior a 7,9 % para Lago Agrio y 46,0 % para Santo Domingo. El valor de fructosa de ambas procedencias estuvo dentro del intervalo. La glucosa se encontró 38 y 25 veces encima del límite superior, para las semillas de Lago Agrio y Santo Domingo, respectivamente.

Aunque la medida de glucosa se encontró fuera del rango por un amplio valor tanto para semillas ecuatorianas como para procedentes de otros países, esto constituye un factor positivo, porque se tiene mayor cantidad de precursores para las reacciones de Maillard.

En la tabla 3.5 se encuentran los resultados de las medidas de pH. Las semillas de Santo Domingo superaron a las de Lago Agrio, en esta medida por 5,1 %. El pH de las semillas del presente estudio se ubicó entre 5,0 - 5,5, este intervalo es sugerido para semillas de cacao secas fermentadas (Ortiz et al., 2004, p. 124).

Un resumen de investigaciones sobre pH y acidez titulable de las semillas se encuentra en la tabla 3.8. Las semillas ecuatorianas de región costa tuvieron medidas de pH entre 5,57 – 6,26, la medida de las semillas de Lago Agrio y Santo Domingo se ubicaron debajo del límite inferior a 8,4 % y 3,8 %.

Al revisar el resto de la tabla se puede establecer el intervalo de 4,81 – 6,00 para el pH de las semillas de cacao procedentes de otros países. La medida de pH de las semillas estudiadas en este trabajo se acercó al punto medio del rango. Según

los datos presentados por estos autores, las semillas secas fermentadas pueden alcanzar pH 6, para ello es necesario mejorar los procesos poscosecha.

Tabla 3.8. Resumen de investigaciones sobre el pH y la acidez titulable de semillas de cacao

Procedencia	Tratamientos Poscosecha	pH	Acidez titulable (meq/100g b.s.)	Referencia
Colombia, Santander, trinitario	F. cajón 5 días S. sol	5,04	17,40	Acuña y Hernández (2010, p. 22)
Ecuador, Machala, CCN51	F. cajón S. sol	5,59	20,60	Villavicencio (2001, pp. 51, 59)
Ecuador, Naranjal, Complejo Nacional	F. cajón S. sol	5,57	17,00	Villavicencio (2001, pp. 51, 59)
Ecuador, Quevedo, Nacional	F. cajón S. sol	6,26	14,20	Villavicencio (2001, pp. 51, 59)
Malasia, Malacca, criollo	F. cajón 5 días S. sol	5,12	22,84	Jinap y Thien (1994, p. 74)
Malasia, Malacca, criollo	F. cajón 5 días S. horno 60°C	5,05	37,91	Jinap y Thien (1994, p. 74)
Santa Lucía, trinitario	F. cajón, S. sol	4,81	22,38	Bonaparte et al (1998, p.555)
Venezuela, Bartovento, trinitario	F. cesta S. sol	4,82	12,75	Lares et al (2012, p. 442)
Venezuela, Cumboto, criollo	F. cajón 5 días S. sol	6,00	12,83	Ortiz et al. (2009, p. 121)
Venezuela, Cumboto, trinitario	F. cajón 4 días S. sol	4,83	18,33	Ortiz et al. (2004, pp. 39, 40)
Venezuela, Curiepe, trinitario	F. cajón 5 días S. sol	5,37	8,67	Álvarez et al. (2010, p. 83)
Venezuela, Cuyagua, criollo	F. cajón 5 días S. sol	5,83	4,35	Nogales et al. (2006, p. 13)

F: fermentación, S: secado, b.s.: en base seca

La acidez titulable en b.s de las semillas de Lago Agrio fue superior a las de Santo Domingo por 74,7 %. La acidez titulable mide la cantidad de ácidos orgánicos mientras el pH calcula los iones que están presentes en la solución, por ello estos valores pueden o no tener relación entre sí.

En la tabla 3.8 se encuentran valores de acidez titulable dado por otros investigadores. El intervalo de las semillas ecuatorianas en b.s. se ubicó entre 14,2 - 20,6. meq/100g. Las semillas caracterizadas en este trabajo están debajo del límite a 37,3 % para las semillas de Lago Agrio y a 64,1 % para las de Santo Domingo.

Según la misma tabla el rango de semillas de cacao de otros países se sitúa entre 4,35 – 37,91. Las semillas de cacao caracterizadas en este trabajo presentan valores dentro del intervalo acercándose al límite inferior.

Para finalizar el análisis de la caracterización química de las semillas de cacao en la tabla 3.5 se observa la cuantificación de polifenoles totales. Las semillas de Santo Domingo superaron al valor de polifenoles de las de Lago Agrio en b.s. por 44,2 % mgAG/100g. Este resultado probablemente se debe a que las semillas de Santo Domingo tuvieron una fermentación incompleta, la cual conlleva a que se conserven mayor cantidad de antioxidantes. Este resultado se correlaciona con la medida de color de las semillas donde un color ligeramente violeta denota falencias en el proceso de fermentación.

En la tabla 3.9 se muestran los resultados de investigaciones sobre la cuantificación de polifenoles totales en semillas de cacao. Las semillas de cacao originarias de Ecuador alcanzaron valores en b.s. entre 38,12 – 84,20 mgAG/100g. Los resultados obtenidos de la presente investigación se acercan por encima del límite inferior del intervalo antes mencionado.

El rango de los resultados de la cuantificación de polifenoles totales de semillas de cacao en b.s. de otros países se ubicó entre 27,00 – 89,38 mgAG/100g. La cantidad de polifenoles de ambas procedencias estudiadas se aproxima a la mitad del intervalo citado.

Gran parte de los resultados obtenidos de la caracterización química de las semillas de cacao de Lago Agrio y Santo Domingo se ubicaron dentro de los intervalos reportados por otros autores, excluyendo al contenido de grasa y

sacarosa. La grasa se situó debajo del intervalo, lo que es un factor negativo porque la industria prefiere la pasta con mayor contenido de pasta, en cambio la sacarosa se ubicó encima del intervalo, lo que degenera en mayor cantidad de reactantes de Maillard.

Tabla 3.9. Resumen de investigaciones sobre los polifenoles totales de semillas de cacao

Procedencia	Tratamientos Poscosecha	Polifenoles totales (mgAG/100g b.s.)	Referencia
Colombia, Chucuri, trinitario	F. cesta, S, horno	48,80	Gil (2012, p. 44)
Colombia, Santander, criollo	F. cesta, S. sol	39,78	Cadena y Herrera (2008, p. 50)
Costa de Marfil, forastero	F. cajón, S. sol	81,50	Hii, Law, Suzannah, et al. (2009, p. 708)
Ecuador, Colón Eloy, criollo	F. cajón 5 días, S. sol	38,12	Palacios (2008, p. 184)
Ecuador, forastero	F. cajón, S. sol	84,20	Hii, Law, Suzannah, et al. (2009, p. 708)
Ecuador, Nacional	F. cajón 5 días, S. sol	40,64	Palacios (2008, p. 184)
Guinea Ecuatorial, forastero	F. cajón, S. sol	72,40	Hii, Law, Suzannah, et al. (2009, p. 708)
Malasia, Jengka, forastero	F. cajón 5 días, S. horno 70°C	89,38	Hii, Law, Cloke, et al. (2009, p. 160)
Malasia, Jengka, forastero	F. cajón 5 días, S. sol	66,82	Hii, Law, Cloke, et al. (2009, p. 160)
Nicaragua, Matagalpa, trinitario	F. cajón, S. sol	56,00	Suazo (2012, p. 44)
Perú, criollo	F. cajón, S. sol	50,00	Hii, Law, Suzannah, et al. (2009, p. 708)
República Dominicana, criollo	F. cajón, S. sol	40,00	Hii, Law, Suzannah, et al. (2009, p. 708)
Venezuela, Cumboto, criollo	F. cajón 5 días, S. sol	85,44	Ortiz et al. (2009, p. 121)
Venezuela, Cumboto, trinitario	F. cajón 4 días, S. sol	81,00	Ortiz et al. (2004, pp. 39, 40)
Venezuela, Cuyagua, criollo	F. cajón 5 días, S. sol	48,89	Nogales et al. (2006, p. 13)
Venezuela, Cuyagua, criollo	F. cesta, S. sol	27,00	Álvarez et al. (2007, pp. 252, 253)

F: fermentación, S: secado, b.s.: en base seca, AG: ácido gálico

3.2 PROCESAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE CACAO

En esta sección se presenta el monitoreo de humedad (realizado a los procesos de: aplicación del tratamiento, secado y tostado); de temperatura (durante las operaciones de: acondicionamiento térmico, secado, tostado y conchado) y de agitación (en el conchado). Además se muestra los cálculos del rendimiento de cada operación unitaria durante todo el procesamiento.

En la tabla 3.10 se observan los resultados de los análisis de humedad en b.h. al finalizar los procesos de aplicación del tratamiento, secado y tostado para cada ensayo.

Tabla 3.10. Medida de la humedad de cada tatamiento al finalizar los diferentes procesos

Tratamiento	Aplicación del tratamiento (%)	Secado (%)	Tostado (%)
BL	-	4,65 ± 0,53	1,77 ± 0,22
1L	20,65 ± 3,78	4,00 ± 0,72	0,72 ± 0,13
2L	18,68 ± 1,87	3,89 ± 0,33	1,00 ± 0,44
3L	20,08 ± 1,00	3,04 ± 0,21	1,23 ± 0,10
4L	21,46 ± 2,19	4,10 ± 0,06	1,29 ± 0,11
BS	-	5,36 ± 1,31	1,63 ± 0,52
1S	20,32 ± 4,24	3,96 ± 0,65	1,26 ± 0,52
2S	19,67 ± 1,91	4,54 ± 0,88	1,02 ± 0,13
3S	19,90 ± 0,59	4,28 ± 0,46	1,46 ± 0,26
4S	19,23 ± 1,41	3,67 ± 0,57	1,33 ± 0,31

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); n: número de repeticiones; L: Lago Agrio, S: Santo Domingo, B: sin solución acuosa, 1: con H_2O, 2: con $H_2O + C_2H_{12}O_6$, 3: con $H_2O + K_2CO_3$, 4: con $H_2O + C_2H_{12}O_6 + H_2O$

La humedad en b.h. esperada en cada proceso fue cercana a: 20 % en la aplicación del tratamiento, 4 % en el secado y 2 % en el tostado. Al comparar los resultados de la tabla con los esperados, estos se encontraron dentro de lo establecido. El porcentaje de desviación de las repeticiones se ubicó entre 1,5 – 44,0 %. El intervalo tiene un límite superior alto, esto tal vez se debió a la heterogeneidad de las muestras tomadas para realizar el análisis de humedad o

al error experimental. Aunque la desviación estándar es alta, los promedios de cada tratamiento por proceso son similares.

Previo al acondicionamiento térmico se mantuvo la temperatura del aire de calentamiento alrededor de 70 °C, aproximadamente durante 15 minutos, cuando la temperatura en las semillas alcanzó los 40 °C, se dio inicio al acondicionamiento térmico. En la figura 3.2 se presenta el monitoreo de temperatura durante el acondicionamiento térmico.

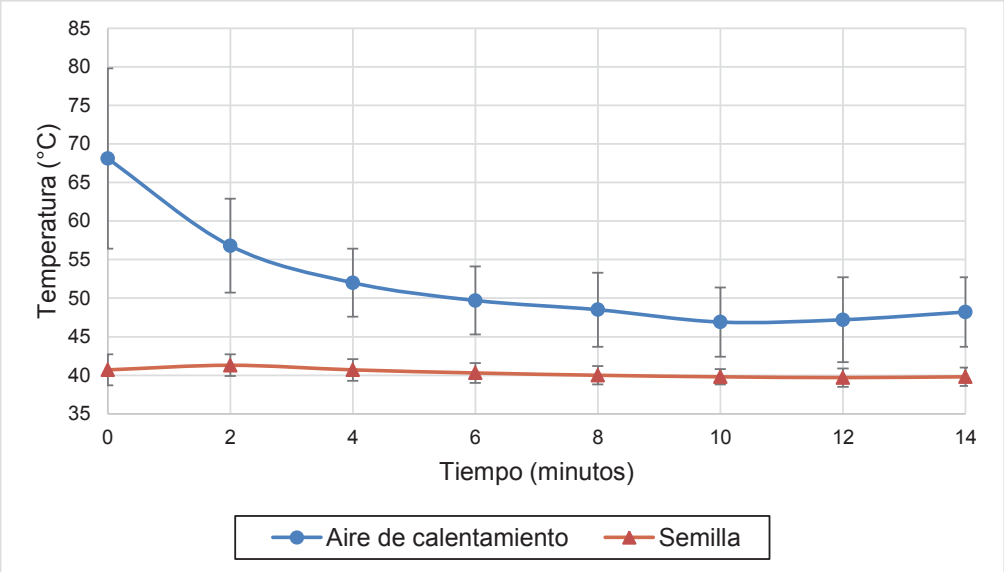


Figura 3.2. Monitoreo de la temperatura durante el acondicionamiento térmico

De la figura se puede apreciar que existió un porcentaje de desviación de la temperatura del aire de calentamiento que fluctuó entre 8,5 – 17,1 %, sin embargo el error porcentual de la temperatura de la semilla varió entre 2,5 – 5,0 %. Pese a la variabilidad de la temperatura del aire de calentamiento, hubo cambios pequeños en la temperatura de la semilla. Durante el acondicionamiento térmico se buscaba que las semillas estuviesen expuestas durante 15 minutos a 40 °C, lo cual según la figura 3.2, se consiguió. Por consiguiente todos los tratamientos pasaron por similares condiciones en el acondicionamiento térmico.

Ya finalizado el acondicionamiento térmico se incrementó la temperatura del aire de calentamiento por encima de los 100 °C, y después de aproximadamente 15

minutos se inició el proceso de secado considerando como partida la temperatura de 90 °C en la semilla. En la figura 3.3 se observa el monitoreo de la temperatura en el proceso de secado.

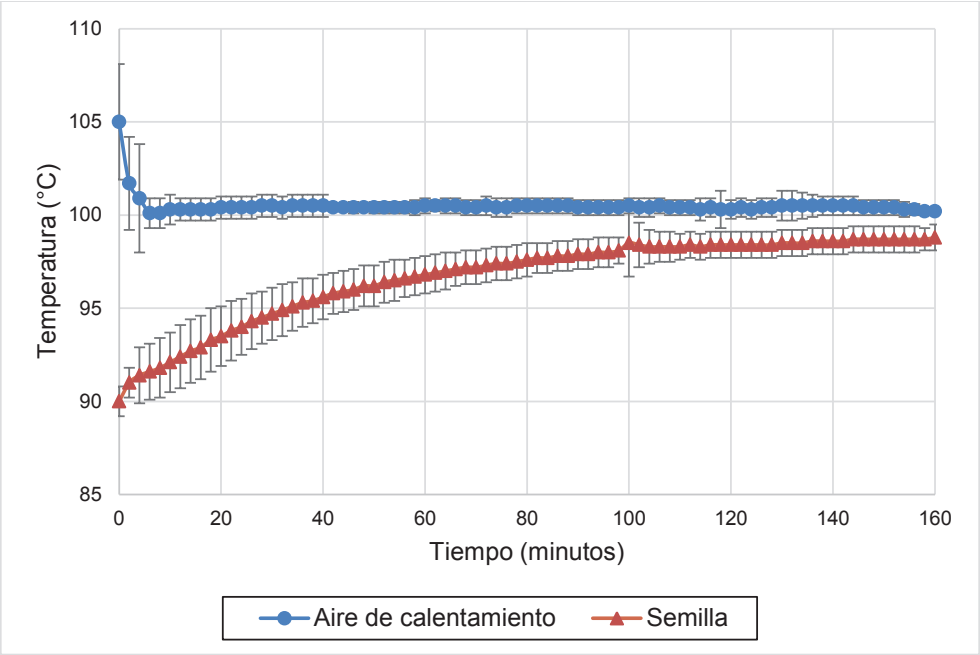


Figura 3.3. Monitoreo de la temperatura durante el secado

Se pudo apreciar que al inicio del proceso existe una diferencia entre la temperatura del aire y la de la semilla por más de 10 °C, pero que al final del proceso este valor se redujo a 2 °C. La trasferencia de calor al inicio del proceso fue mayor por la variación de la temperatura, pero al final la trasferencia disminuyó. La desviación estándar tanto de la temperatura del aire de calentamiento como la de la semilla, es ínfima, lo que permite asegurar que todos los tratamientos tuvieron las mismas condiciones durante el secado.

Una vez concluido el secado se subió la temperatura del aire de calentamiento por encima de 130 °C, y después de aproximadamente 10 minutos cuando la temperatura en la semilla fue de 125 °C, empezó el tostado. El monitoreo de la temperatura en el proceso de tostado se aprecia en la figura 3.4.

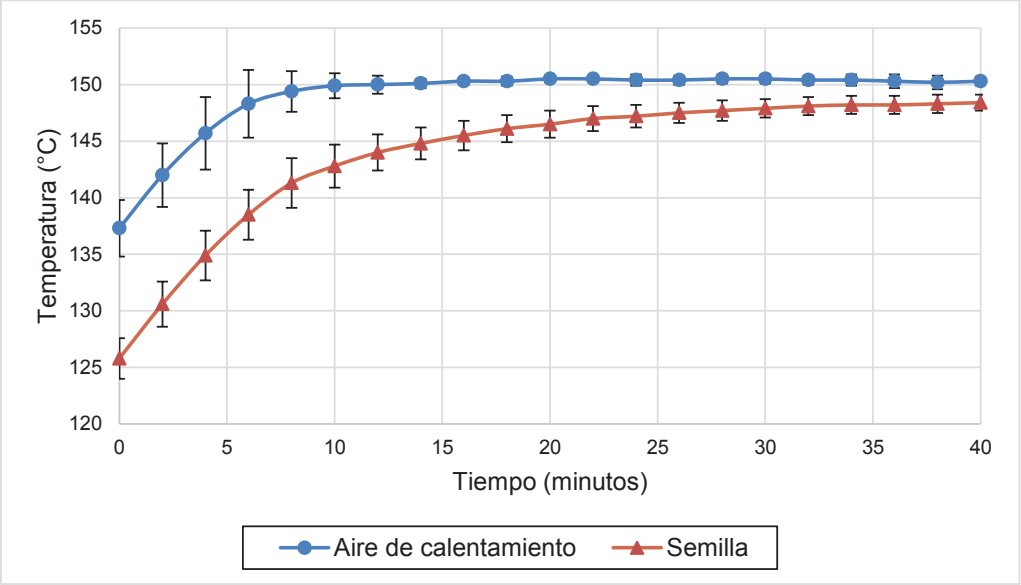


Figura 3.4. Monitoreo de la temperatura durante el tostado

Al comparar la temperatura del aire con la de la semilla se pudo observar que al inicio del proceso existe una diferencia superior a 12 °C, pero al final esta es inferior a 2 °C. La temperatura del aire de calentamiento es siempre mayor que la de la semilla porque se está trasfiriendo el calor. Todos los tratamientos tuvieron similares curvas de temperaturas durante el tostado porque la desviación estándar es muy pequeña y se encuentra entre 0,2 - 2,2 %.

En la tabla 3.11 se presentan los valores de la temperatura y de la agitación durante el conchado.

Tabla 3.11. Monitoreo de la temperatura y la agitación del chcocolate durante el conchado

Tiempo (min)	Temperatura del chocolate (°C)	Agitación (rpm)
0	71,00 ± 7,72	173,84 ± 47,49
30	88,01 ± 4,06	268,56 ± 69,22
60	95,39 ± 2,03	318,28 ± 42,67
90	97,67 ± 1,51	349,63 ± 40,88
120	99,20 ± 1,19	367,45 ± 47,26

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 20); n: número de repeticiones

Como se puede observar en la tabla la temperatura del aire durante el conchado se mantuvo en 90 °C, sin embargo la temperatura del chocolate a partir del minuto 60 superó a la del aire hasta que a los 120 minutos se ubicó cerca de los 100 °C. El incremento de la temperatura se atribuye a la agitación, porque el movimiento del chocolate le incorpora energía. La desviación estándar de la temperatura del chocolate en las diferentes repeticiones se situó entre 1,2 – 10,9 %.

La agitación en vacío se estableció en 350 rpm, pero al colocar el chocolate al conchado su velocidad se redujo a 173,84 rpm, la cual fue aumentando conforme transcurrió el tiempo de conchado hasta llegar a 367,45 rpm. Además el error porcentual de la agitación de las repeticiones se encontró entre 11,7 – 27,3 %, esto denota variabilidad. El cambio de esta medida seguramente se debió a la variación de las propiedades reológicas del chocolate o al error experimental.

El conchado disminuye el tamaño de partícula y aumenta el grado de mezcla, por ello disminuye la viscosidad (Beckett, 2009, pp. 198, 202). En síntesis la temperatura del chocolate y la agitación se incrementaron en el tiempo a causa de la disminución de la viscosidad.

En la tabla 3.12 se aprecia los rendimientos del procesamiento de las semillas de cacao de Lago Agrio y Santo Domingo.

Tabla 3.12. Rendimiento del procesamiento de las semillas de cacao de cada procedencia

Proceso	**Rendimiento (%)**	
	Lago Agrio	**Santo Domingo**
Limpieza	91,95 ± 2,97	95,23 ± 3,07
Aplicación del tratamiento	113,05 ± 1,68	115,24 ± 0,72
Tostado	81,77 ± 3,89	82,67 ± 4,62
Descascarillado	86,95 ± 0,95	88,85 ± 1,52
Triturado	99,44 ± 0,47	99,32 ± 0,36
Molienda	95,81 ± 0,27	97,25 ± 0,95
Conchado	97,10 ± 0,72	96,92 ± 0,78

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 10); n: número de repeticiones

La tabla muestra que las semillas de Santo Domingo presentaron menores impurezas que las de Lago Agrio. La aplicación del tratamiento tiene un valor sobre el 100 % debido a la adición de soluciones acuosas, las semillas de Santo Domingo tuvieron mayor porcentaje porque debían hidratarse más que las de Lago Agrio para alcanzar la humedad de 20 %. Las semillas de Santo Domingo presentan menores pérdidas por desecho de cascarilla que las semillas de Lago Agrio. En general se determinaron similares rendimientos para cada operación unitaria en ambas procedencias.

3.3 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE LAS PASTAS DE CACAO OBTENIDAS

En este subcapítulo se muestran los resultados de los análisis de: color, pH, acidez titulable, polifenoles totales y parámetros sensoriales para cada tratamiento. Se empleó el estudio de medias por el método LSD de Fisher para establecer diferencias significativas, el detalle de los análisis estadísticos se presenta en el anexo VI.

3.3.1 EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO

En la tabla 3.13 se presentan las coordenadas de color de la pasta de cacao obtenida de la aplicación de los diferentes tratamientos. Las coordenadas de color *L, a, b* presentaron diferencias estadísticas significativas tanto en la procedencia como en los tratamientos. El color de la pasta de Lago Agrio fue café oscuro mientras la de Santo Domingo fue ligeramente más oscuro. Al aplicar los tratamientos 3 y 4 las pastas de cacao se tornaron ligeramente más claras, debido a la alcalinización (Kamphuis, 2009, pp. 126, 127). Pese a los resultados expuestos es difícil distinguir diferencias a simple vista. En las tablas VI.1 a VI. 6 se muestran los análisis estadísticos de las coordenadas de color.

Tabla 3.13. Coordenadas de color de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos

Tratamiento	*L*	*a*	*b*
BL	26,02 ± 0,28 [a]	13,39 ± 0,059 [a]	9,30 ± 0,06 [b]
1L	26,94 ± 0,42 [a]	13,51 ± 0,125 [a]	8,75 ± 0,54 [a]
2L	28,64 ± 2,00 [b]	13,89 ± 0,148 [c]	7,88 ± 0,10 [a]
3L	27,14 ± 1,07 [ab]	14,00 ± 0,154 [b]	9,49 ± 0,19 [c]
4L	27,19 ± 0,16 [ab]	13,68 ± 0,073 [b]	9,52 ± 0,21 [bc]
BS	25,95 ± 0,11 [a]	11,80 ± 0,181 [a]	8,43 ± 0,05 [b]
1S	25,50 ± 0,28 [a]	11,75 ± 0,117 [a]	7,78 ± 0,27 [a]
2S	26,14 ± 0,29 [b]	12,13 ± 0,118 [c]	8,29 ± 0,10 [a]
3S	26,21 ± 0,34 [ab]	11,66 ± 0,142 [b]	8,90 ± 0,18 [c]
4S	26,08 ± 0,33 [ab]	11,97 ± 0,269 [b]	8,48 ± 0,25 [bc]

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); n: número de repeticiones. Letras diferentes en columnas expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba LSD con 95 % de confianza. L: Lago Agrio, S: Santo Domingo, B: sin solución acuosa, 1: con H_2O, 2: con H_2O + $C_2H_{12}O_6$, 3: con H_2O + K_2CO_3, 4: con H_2O + $C_2H_{12}O_6$ + H_2O

3.3.2 EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO

En la figura 3.5 se presentan los resultados de la medida de humedad de las pastas de cacao obtenidas de la aplicación de los diferentes tratamientos.

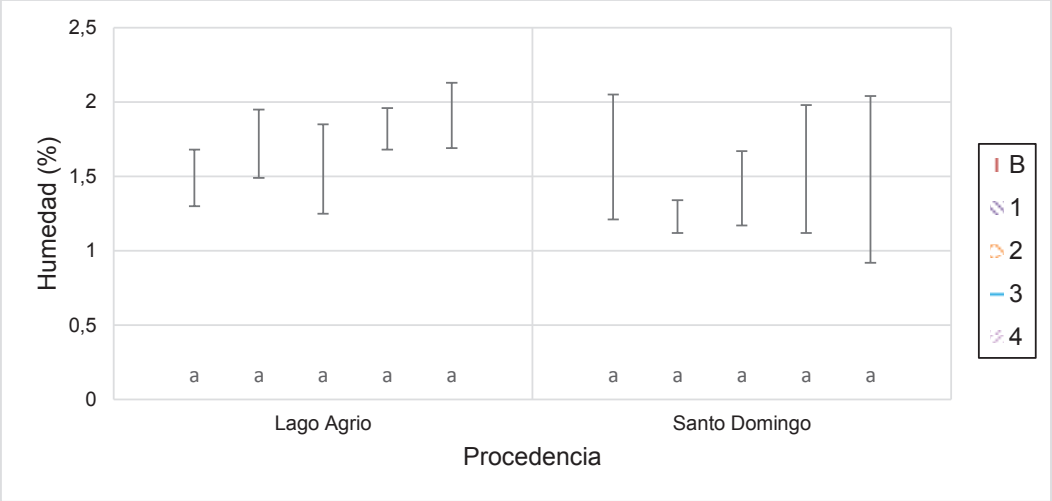


Figura 3.5. Humedad de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos

La humedad no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, pero si entre las procedencias. Las pastas de cacao de Lago Agrio tienen una humedad entre 1,49 – 1,91 % y las de Santo Domingo entre 1,23 – 1,63 %. Existe una humedad mayor para la pasta de procedencia de Lago Agrio. Esto puede deberse a que se mantuvo la diferencia de la medida de humedad que hubo en las semillas, a través del procesamiento. La humedad a la que debían llegar las pastas de cacao era de 2 %, al cual se aproximaron. En las tablas VI.7 y VI. 8 se presentan los análisis estadísticos realizados a la humedad.

En la figura 3.6 se observan los valores de pH alcanzados por las pastas de cacao tratadas con o sin las diferentes soluciones acuosas.

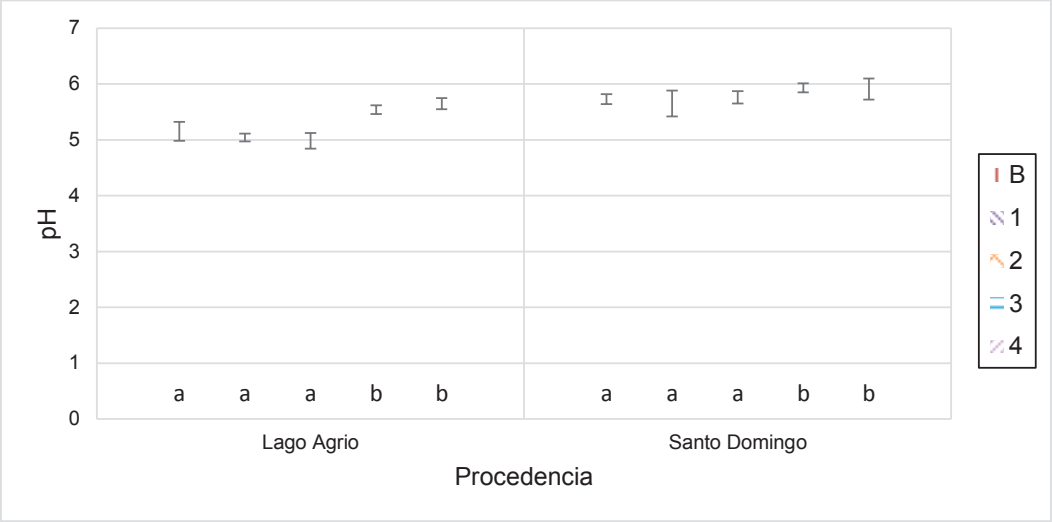


Figura 3.6. pH de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos

Se evidenció diferencias estadísticas significativas entre las procedencias y los tratamientos. El pH de la pasta de Lago Agrio se ubicó entre 4,98 – 5,65 mientras para Santo Domingo se situó entre 5,65 – 5,93, el pH fue mayor para esta última procedencia. La respuesta del pH fue más alta en los tratamientos con solución de carbonato de potasio (3) y con solución de glucosa y carbonato de potasio (4), posiblemente esto se debe a que la alcalinización con carbonato de potasio incrementó el pH. Un aumento de pH es deseable en una pasta de cacao ya que disminuye la acidez y el amargor (Afoakwa, 2010, pp. 64, 65). Los análisis estadísticos realizados del pH se encuentran en las tablas VI.9 y VI.10.

En la figura 3.7 se presenta los valores de acidez titulable de las pastas de cacao obtenidas por los tratamientos del diseño experimental.

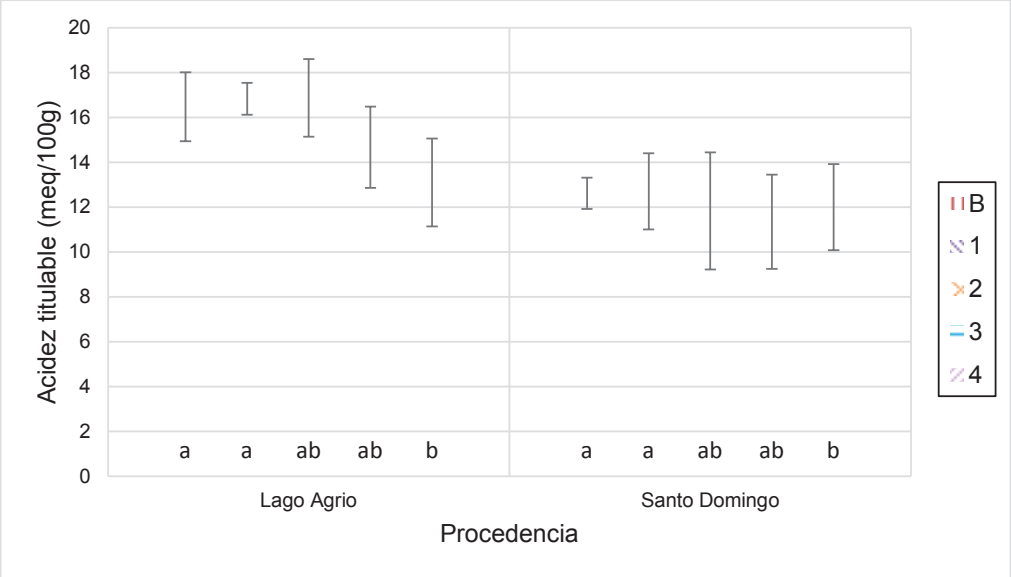


Figura 3.7. Acidez titulable de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos

La acidez titulable mostró diferencias significativas entre las procedencias no así entre los tratamientos. La pasta de Lago Agrio tuvo mayor acidez titulable que la pasta de Santo Domingo. Este parámetro se ubicó entre 13,10 – 16,87 meq/100g para Lago Agrio y entre 11,34 – 12,70 meq/100g para Santo Domingo. En las tablas VI.11 y VI.12 se aprecian los cuadros estadísticos para la acidez titulable dado por el programa Statgraphics.

Al correlacionar los resultados de pH y acidez titulable de las pastas de cacao se estableció que al disminuir la acidez titulable aumentó el pH, esto probablemente se debe a que hubo menor presencia de ácidos orgánicos en la pasta de cacao.

La figura 3.8 muestra los resultados de los análisis de polifenoles totales para cada pasta de cacao obtenida por los diferentes tratamientos. El análisis estadístico de polifenoles totales mostró diferencias estadísticas significativas entre las procedencias y los tratamientos. Los polifenoles según la procedencia se situaron entre 15,39 – 33,92 mgAG/g para Lago Agrio y 21,45 – 30,11 mgAG/g

para Santo Domingo. Hubo mayor presencia de polifenoles al aplicar el tratamiento de solución acuosa con glucosa y carbonato de potasio. El detalle de los resultados estadísticos para los polifenoles totales se encuentra en las tablas VI.13 y VI.14.

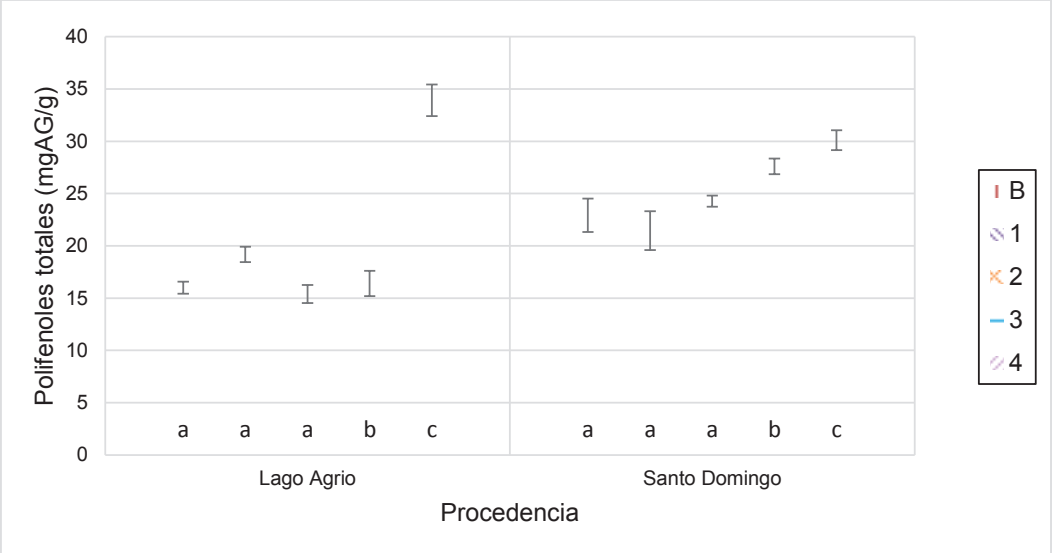


Figura 3.8. Polifenoles totales de las pastas de cacao obtenidas por los diferentes tratamientos

Una posible explicación a este resultado puede tener relación con la polimerización de las epicatequinas en presencia de exceso de azúcares reductores que en consecuencia no participarían en las reacciones de Maillard. Las epicatequinas polimerizadas se convierten en proantocianinas, las cuales son resistentes a procesos térmicos (Kothe et al., 2013, p. 3659; Noor-Soffalina et al., 2009, pp. 177, 180). Entonces debido a la aplicación del tratamiento 4 podría conseguirse mayor cantidad de antioxidantes, por la generación de un grupo de polifenoles resistente a la degradación térmica durante el proceso de tostado.

3.3.3 EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS SENSORIAL

En la figura 3.9 se muestra los resultados del análisis sensorial de las pastas de cacao de Lago Agrio.

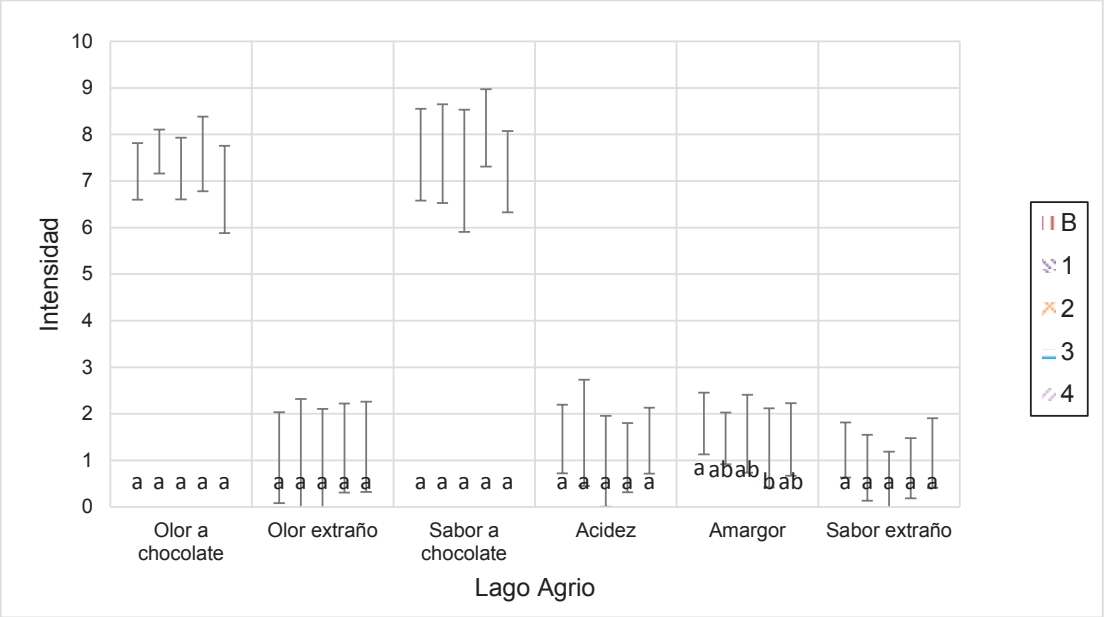


Figura 3.9. Análisis sensorial de las pastas de cacao de Lago Agrio obtenidas por los diferentes tratamientos

El análisis sensorial de las pastas de Lago Agrio mostró diferencias estadísticas significativas solo en el parámetro sensorial de amargor. Se consiguió una menor percepción de amargor en la pasta alcalinizada. No existieron diferencias importantes de los parámetros sensoriales entre tratamientos, sin embargo se puede destacar que los resultados de la precepción sensorial de olor y sabor a chocolate fueron superiores a 6,0 en contraste con los restantes que fueron inferiores a 2,5. La desviación estándar fue alta porque para los panelistas fue muy difícil identificar diferencias organolépticas en las pastas de cacao, por su similitud. En las tablas VI.15 a VI.26 se muestran los análisis estadísticos de los parámetros sensoriales para las pastas de Lago Agrio.

En la figura 3.10 se aprecia los resultados del análisis sensorial de las pastas de cacao de Santo Domingo. El análisis sensorial no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para ningún parámetro. El alto valor de la desviación estándar en todos los parámetros podría deberse a la falta de experiencia de los panelistas al analizar propiedades organolépticas de las pastas de cacao y/o errores experimentales. Se observan los análisis estadísticos de las propiedades sensoriales de las pastas en las tablas VI.27 a VI.38.

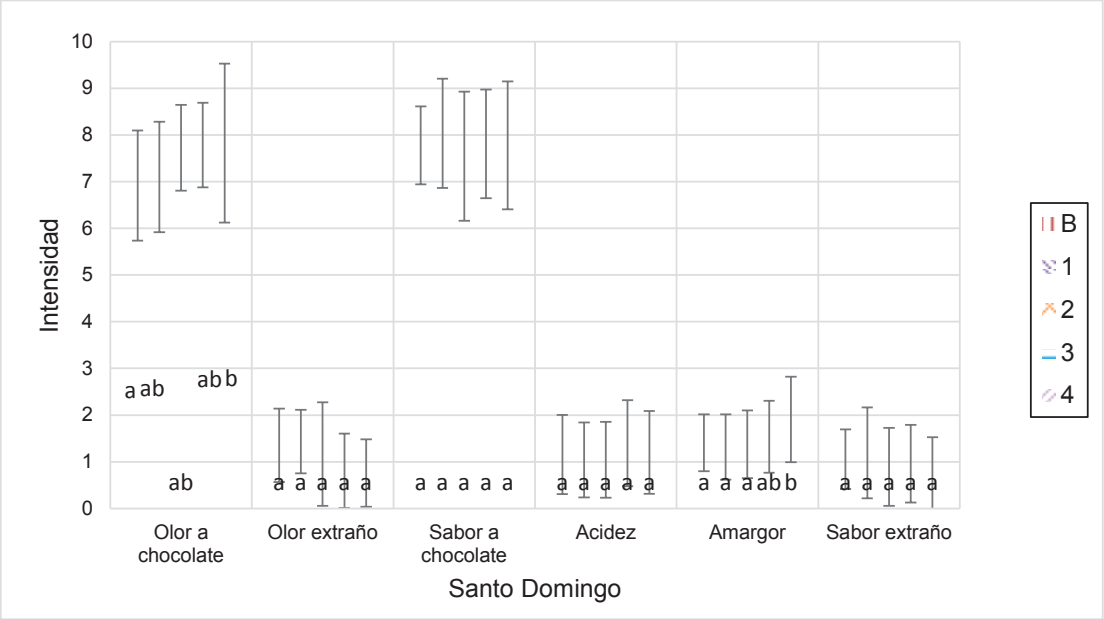


Figura 3.10. Análisis sensorial de las pastas de cacao de Santo Domingo obtenidas por los diferentes tratamientos

3.3.4 SELECCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO

A continuación se realizará un resumen de los principales resultados obtenidos del estudio de las variables de salida de: color, humedad, pH, acidez titulable, polifenoles totales y análisis sensorial. Se determinó que existen diferencias estadísticas significativas entre procedencias para todos los parámetros antes descritos, y entre tratamientos para las variables de color, pH y polifenoles.

Aunque el parámetro de color presentó diferencias estadísticas significativas en todas sus coordenadas, este parámetro no es importante ya que es muy difícil establecer diferencias de color a simple vista. La humedad no permitió definir el mejor tratamiento. Un pH más neutro en la pasta de cacao es favorable porque disminuye la percepción de acidez y amargor, que se traduce en chocolates con mejor sabor. Entonces los mejores tratamientos correspondieron a las pastas que fueron tratadas con soluciones de carbonato de potasio, en este caso el tratamiento 3 y 4. La acidez titulable no contribuyó a determinar el mejor tratamiento. Por otra parte, se prefiere una pasta de cacao con altos contenidos

de antioxidantes por los beneficios a la salud que generar el consumirlos. El tratamiento que conserva mayor cantidad de polifenoles totales correspondió a la aplicación de solución acuosa de glucosa y carbonato de potasio para ambas procedencias. El análisis sensorial de ambas procedencias no aportó con criterios para definir el mejor tratamiento, ya que a perspectiva de los panelistas no existen diferencias en las propiedades organolépticas.

En definitiva se establece que el mejor tratamiento para las dos procedencias es el de hidratación hasta el 20 % de humedad, 1 % de glucosa respecto al peso de las semillas en base seca y alcalinización con carbonato de potasio hasta pH 8, por acercar a la neutralidad a la pasta y conservar mayor cantidad de antioxidantes.

3.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y SENSORIAL DE LAS PASTAS DE CACAO SELECCIONADAS

En esta sección se presentan los resultados de la caracterización física química y sensorial de dos pastas de cacao, las cuales corresponden al mejor tratamiento (adición de agua, glucosa y carbonato de potasio) para Lago Agrio y Santo Domingo. Primero se realiza una comparación entre los valores obtenidos de las dos pastas de cacao seleccionadas, luego se realiza otra comparación entre la caracterización físico-química de las semillas y las pastas de cacao. Finalmente se evalúa los resultados obtenidos con los de otras investigaciones.

3.4.1 ANÁLISIS FÍSICOS

En la tabla 3.14 se aprecian las coordenadas de color de las pastas de cacao que corresponden al mejor tratamiento para cada procedencia.

Tabla 3.14. Coordenadas de color de las pastas de cacao

Coordenada de color	Lago Agrio	Santo Domingo
L	27,19 ± 0,16	26,08 ± 0,33
a	13,68 ± 0,07	11,97 ± 0,27
b	9,52 ± 0,21	8,48 ± 0,25

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); n: número de repeticiones

En forma global se pudo apreciar que las coordenadas de color de ambas pastas de cacao fueron similares. El error de las repeticiones de la medida de las coordenadas de color fue bajo y se encontró entre 0,5 – 2,9 %.

Con la finalidad de comparar el color de las pastas de ambas procedencias en la figura 3.11 se observa el color establecido por las coordenadas *L, a y b* en el programa Photoshop, y fotografías de los chocolates negros (70 % pasta de cacao y 30 % azúcar). Se aprecia que ambas fueron café oscuro, sin embargo la pasta de cacao de Lago Agrio fue ligeramente más clara que la pasta de Santo Domingo.

Figura 3.11. Color de las pastas de cacao

Existió un cambio de color de la semilla al convertirse en pasta de cacao, así: *L* fue más oscura en 21,7 % y 15,4 % y *a* fue roja más tenue en 10,2 % y 52,2 %, para la procedencia de Lago Agrio y para la de Santo Domingo, respectivamente;

mientras la medida de *b* fue amarilla más tenue para Lago Agrio en 48,3 % y amarilla más intensa para Santo Domingo en 16,2 %. En síntesis las semillas al convertirse en pasta se oscurecieron, este hecho se atribuye a los pigmentos oscuros generados durante el tostado por las reacciones de Maillard.

En la tabla 3.15 se presentan los resultados obtenidos por otros investigadores sobre las coordenadas de color de chocolates negros de similares formulaciones a la empleada en este trabajo (70 % pasta de cacao, 30 % azúcar).

Tabla 3.15. Resumen de investigaciones sobre las coordenadas de color en CIELAB de chocolates negros

Característica	Composición	*L*	*a*	*b*	Referencia
Chocolate negro con dulcamara	40 % pasta de cacao 16 % azúcar	22,25	7,42	8,03	Moreno (2009, p. 28)
Chocolate negro con vitamina E	70 % pasta de cacao 30 % azúcar	23,96	6,07	4,73	Borges et al. (2014, p. 446)
Chocolate negro con aceite de palma	70 % pasta de cacao 30 % azúcar	23,99	6,13	4,84	Borges et al. (2014, p. 446)
Chocolate negro con esteres	70 % pasta de cacao 30 % azúcar	24,07	5,74	4,38	Borges et al. (2014, p. 446)
Chocolate negro	45 % pasta de cacao 49,7 % azúcar	33,25	8,70	7,17	Afoakwa, Paterson, Fowler, y Vieira (2008, p. 188)
Chocolate negro	54 % pasta de cacao 40,7 % azúcar	34,22	9,15	8,13	Afoakwa, Paterson, Fowler, y Vieira (2008, p. 188)

De la tabla se aprecia que las coordenadas de color se encontraron entre: 22,35 – 34,22 para *L*, 5,74 – 9,15 para *a* y 4,38 – 8,13 para *b*. La coordenada *L* de ambas procedencias estuvo dentro del intervalo, específicamente cerca del límite inferior para Lago Agrio y en la mitad del rango para Santo Domingo. Las coordenadas *a* y *b* de ambas procedencias estuvieron fuera del intervalo y sobre el límite superior, así la pasta de Lago Agrio estuvo 49,5 % y 17,1 % arriba mientras la pasta de Santo Domingo estuvo 30,8 % y 4,3 % arriba.

Aunque las diferencias de las coordenadas a y b son difíciles de percibir por el ojo humano (Martínez, Salvador, Muguerza, Moulay, y Fiszman, 2010, p. 325), el que

otros investigadores no hayan encontrado similares medidas de estas coordenadas a los dados en el presente trabajo se podría atribuir a la alcalinización al que se sometieron las semillas previo al tostado, el cual generó un color café oscuro ligeramente más claro que el color de los chocolates investigados por otros autores.

3.4.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

Los resultados de humedad, grasa total, azúcares, pH, acidez titulable y polifenoles totales de las pastas de cacao seleccionadas como mejor tratamiento, se muestran en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Características químicas de las pastas de cacao

Característica	Base húmeda		Base seca	
	Lago Agrio	**Santo Domingo**	**Lago Agrio**	**Santo Domingo**
Humedad (%)	1,91 ± 0,22	1,48 ± 0,56	1,94 ± 0,23	1,50 ± 0,56
Grasa total (%)	56,26 ± 0,84	54,76 ± 0,46	57,35 ± 0,85	55,58 ± 0,46
Sacarosa (mg/100g)	LND	82,69 ± 10,15	LND	83,93 ± 10,30
Fructosa (mg/100g)	LND	58,38 ± 15,20	LND	59,26 ± 15,43
Glucosa (mg/100g)	LND	LND	LND	LND
Ph	5,65 ± 0,10	5,91 ± 0,19	5,65 ± 0,10	5,91 ± 0,19
Acidez (meq/100g)	13,10 ± 1,96	12,00 ± 1,92	13,36 ± 2,00	12,18 ± 1,95
Polifenoles totales (mgAG/g)*	33,92 ± 1,51	30,11 ± 0,94	34,58 ± 1,54	30,56 ± 0,96

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); * $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 3); n: número de repeticiones; AG: ácido gálico; LND: límite no detectable

En las siguientes líneas se presenta el análisis de la desviación estándar de la tabla 3.16. La humedad tuvo un porcentaje de error entre 11,5 – 37,8 % debido quizás a la aplicación de soluciones acuosas previos al tostado, la desviación estándar de la acidez titulable se situó entre 15,0 – 16,0 % debido tal vez a la difícil estabilización de la medida de pH, y el error de la medida de azúcares se ubicó entre 12,3 – 26,0 % probablemente a causa de errores experimentales, los

parámetros químicos restantes tuvieron un porcentaje de error entre 0,8 – 4,5 %, el cual es bajo.

De la tabla 3.16 se observa que la humedad de las pastas de cacao fue menor al 2 % en b.h., porque así fue establecido en el diseño del procesamiento. La pasta de Lago Agrio tuvo un valor superior de humedad en b.h. a la de Santo Domingo por 29,1 %. Además según la norma INEN 623 (1988), la humedad de la pasta de cacao debe ubicarse debajo del 3 % en b.h., lo cual cumplen las dos pastas de cacao seleccionadas.

Al comparar la humedad de las semillas en b.h. con las pastas se estableció que ambas procedencias redujeron este valor en 82 %, producto de la aplicación de tratamientos térmicos que deshidrataron a las semillas al convertirlas en pasta de cacao.

En la tabla 3.17 se aprecia los resultados de varias investigaciones realizadas a las pastas de cacao sobre la humedad. Las pastas de cacao ecuatorianas tuvieron humedad en b.h. del 2 %, a lo cual las dos pastas estudiadas en la presente investigación se encuentran 4,5 % debajo del valor para Lago Agrio y 26,0 % debajo del valor para Santo Domingo.

De la misma tabla 3.17 se muestra que la medida de humedad en b.h. de las pastas de cacao de otros países se situó entre 1,82 – 3,01 %, al cual solo la pasta de Lago Agrio se acercó encima del límite inferior mientras la pasta de Santo Domingo se ubicó 18,7 % debajo del rango.

En la tabla 3.16 también se muestra los resultados de la cuantificación de grasa de las pastas de cacao de ambas procedencias. En las dos pastas el porcentaje de grasa en b.s. fue superior al 50 %, lo que constituye un factor positivo. Sin embargo la pasta de Lago Agrio presentó un valor ligeramente superior a la de Santo Domingo por 3,2 %. Cabe destacar que la norma INEN 623 (1988), establece un rango entre 48 – 54 % de grasa total en b.s., lo cual ambas pastas de cacao superan.

Tabla 3.17. Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de humedad y la grasa total de pastas de cacao

Procedencia	Condiciones de Operación	Humedad (% b.h)	Grasa total (% b.s.)	Referencia
Brasil, forastero	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 150 °C 30min	2,26	52,00	Belchior y Genovese (2013, p. 931)
Colombia, Santander, criollo	F. cesta, S. Sol, T. 160 °C 60 min	1,82	58,23	Cadena y Herrera (2008, p. 33)
Ecuador, Echeandia, CCN-51	F. cajón, S. sol T. 130 °C 120 min	2,00	51,40	Bertazzo et al. (2011, p. 94)
Ecuador, Quevedo, Criollo	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	2,00	50,10	Luna et al. (2002, p. 3529)
Ecuador, Quevedo, Nacional	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	2,00	53,80	Luna et al. (2002, p. 3529)
Venezuela, Bartovento, trinitario	F. cesta, S. sol, T. 120 °C 20 min	2,74	45,42	Lares et al. (2012, p. 442)
Venezuela, Chuao, criollo	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 150 °C 30min	3,01	52,25	Pérez, Álvarez, y Lares (2002, p. 165)

F: fermentación, S: secado, T: tostado; b.h: en base húmeda; b.s: en base seca

Al comparar la grasa total de las semillas en b.s. con las de la pasta de cacao se apreció un incremento de la medida en 16,8 % para Lago Agrio y 25,3 % para Santo Domingo. Esta variación en la medida puede deberse a que la muestra de semillas de cacao para el análisis de grasa tuvo un contenido de cascarilla y azúcares, equivalentes a 10,87 % y 4,58 % para Lago Agrio y 10,35 % y 3,04 % para Santo Domingo, respectivamente. En consecuencia al realizar un balance de masa, aparentemente el porcentaje de grasa en las semillas va ser menor. Otra razón puede atribuirse al tamaño de partícula, ya que una dimensión más reducida se puede mejorar la hidrólisis ácida, que extrae la grasa de la muestra.

En la tabla 3.17 se presentan también los resultados del contenido de grasa en b.s. de pastas de cacao de otras procedencias. Las pastas de cacao de Ecuador tuvieron valores de grasa total en b.s. entre 50,10 – 53,80 %, la pasta de cacao de Lago Agrio se encontró 6,6 % encima del intervalo y la de Santo Domingo 3,3 % encima del rango.

De la misma tabla se obtuvo el intervalo de resultados de grasa total en b.s de pastas de cacao de otros países se situó entre 45,42 – 58,23 %, al cual las pastas de cacao de ambos orígenes se aproximaron por debajo del límite superior. El alto contenido de grasa de las pastas caracterizadas en el presente estudio, es favorable para su comercialización.

De la tabla 3.16, se puede observar que la cuantificación de los azúcares en b.s. de las pastas de ambas procedencias resultó en valores muy bajos. En el caso de la pasta de cacao de Lago Agrio, las medidas se encuentran en límites no detectables mientras la pasta de Santo Domingo tiene valores bajos para sacarosa y fructosa. La baja presencia de azúcares en las pastas de cacao, se traduce en un adecuado desarrollo de las reacciones de Maillard, durante el tostado.

Al realizar una comparación de la cuantificación de azúcares en b.s. en las semillas y pastas de cacao, se establece que estos han sido consumidos en su gran parte por las reacciones de Maillard durante el tostado.

En la tabla 3.18 se presentan los resultados del porcentaje de azúcares en b.s. seca realizados a pastas de cacao por otros autores. Las pastas de cacao ecuatorianas tuvieron medidas en b.s. de 624,00 – 2190,00 para sacarosa, 60,50 – 810,00 para fructosa y 10,50 – 330,00 para glucosa todos en mg/100g. Los valores de sacarosa y fructosa de la pasta de Santo Domingo se encontraron 86,6 % y 2,0 % debajo del límite inferior los rangos antes mencionados, respectivamente.

De la misma tabla se obtuvo los rangos en b.s de: 4,60 – 202,50 mg/100g para sacarosa, 43,50 – 82,00 mg/100g para fructosa y 4,50 – 8,40 mg/100g para glucosa como referencia de pastas de cacao de otros países. La medida de sacarosa de la pasta de Santo Domingo se acerca a la mitad del rango, mientras el valor de fructosa igual de la pasta de Santo Domingo se acerca por encima del límite inferior del intervalo. En forma global las medidas de azúcares en b.s. de las pastas de cacao de esta investigación se aproximaron a los límites inferiores de

los resultados presentados por otros autores, esto demostró que la aplicación de los tratamientos, mejora la ejecución de las reacciones de Maillard y con ello el olor y sabor a chocolate de las pastas de cacao.

Tabla 3.18. Resumen de investigaciones sobre el porcentaje de azúcares de pastas de cacao

Procedencia	Condiciones de Operación	Sacarosa (mg/100 g b.s.)	Fructosa (mg/100 g b.s.)	Glucosa (mg/100 g b.s.)	Referencia
Costa de Marfil forastero	F. cajón, S. sol, T. 150 °C 27 min	202,50	43,50	5,00	Redgwell et al. (2003, p. 513)
Ghana, forastero	F. cajón, S. sol, T. 150 °C 27 min	141,00	59,50	4,50	Redgwell et al. (2003, p. 513)
Ecuador, Nacional	F. cajón, S. sol, T. 150 °C 27 min	624,00	60,50	10,50	Redgwell et al. (2003, p. 513)
Ecuador, Quevedo, Criollo	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	2230,00	790,00	290,00	Luna et al. (2002, p. 3529)
Ecuador, Quevedo, Nacional	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	2190,00	810,00	330,00	Luna et al. (2002, p. 3529)
Malasia,	F. cesta, S. Sol, T. 120 °C 45min	4,60	82,00	8,40	Misnawi et al., (2004a, p. 79)

F: fermentación, S: secado, T: tostado, b.s.: en base seca

En la tabla 3.16 también se encuentran las medidas de pH de las pastas de cacao seleccionadas. En ambas este valor fue cercano a 6 que se considera ligeramente ácido. El pH de la pasta de Santo Domingo fue superior al de Lago Agrio por 4,6 %.

Al comparar con los resultados de las semillas el pH incrementó su valor en 10,8 % para la procedencia de Lago Agrio y 10,3 % para la de Santo Domingo. Esto puede relacionarse con la aplicación del tratamiento con álcali y la volatilización de ácidos durante el tostado.

En la tabla 3.19 se muestran los resultados de pH de pastas de cacao de diferentes orígenes. El rango en estas investigaciones fluctuó entre 4,68 – 6,20,

donde las pastas de cacao se ubicaron sobre la mitad del intervalo. Es ideal un pH cercano a 7 debido a que se disminuye la percepción de acidez y amargor.

Tabla 3.19. Resumen de investigaciones sobre el pH y la acidez titulable de pastas de cacao

Procedencia	Condiciones de Operación	pH	Acidez (meq/100g b.s.)	Referencia
Ecuador, Quevedo, Nacional	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	6,20	9,07	Luna et al. (2002, p. 3529)
Ecuador, Quevedo, Criollo	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	5,60	10,86	Luna et al. (2002, p. 3529)
Venezuela, Bartovento, trinitario	F. cesta, S. sol, T. 120 °C 20 min	4,68	11,61	Lares et al. (2012, p. 442)
Venezuela, Chuao, criollo	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 150 °C 30min	5,11	12,70	Pérez et al. (2002, p. 165)

F: fermentación, S: secado, T: tostado, b.s.: en base seca

De la tabla 3.16 también se puede apreciar la acidez titulable de las pastas de cacao. La pasta de cacao de Lago Agrio tuvo una acidez titulable en b.s. superior a la Santo Domingo por 9,7 %.

La acidez titulable en b.s. se incrementó en 49,9 % para Lago Agrio y 138,8 % para Santo Domingo al transformarse de semillas a pasta de cacao. Las razones de la variación fueron las mismas que las descritas para el pH, como son: alcalinización con carbonato de potasio y volatilización de ácidos.

En la tabla 3.19 se observan los resultados dados por investigadores sobre la acidez titulable de las pastas de cacao. El rango de acidez titulable en b.s. se situaron entre 9,07 – 12,70 meq/100g. La medida de acidez titulable de la pasta de Santo Domingo se acercó por debajo del límite superior del intervalo mientras la medida de Lago Agrio lo sobrepasó por 4,1 %.

Para finalizar el análisis de la tabla 3.16 se evaluará la cuantificación de polifenoles totales. La pasta de Lago Agrio presentó mayor medida de polifenoles totales que la de Santo Domingo por 13,2 %.

Al comparar la cuantificación de polifenoles totales de las semillas con las pastas de cacao se establece que esta disminuyó en 14,4 % para Lago Agrio y 47,5 % para Santo Domingo. Este cambio se debe a la degradación de polifenoles por la exposición de las semillas a altas temperaturas, durante el tostado.

En la tabla 3.20 se presentan los resultados de otras investigaciones sobre el contenido de polifenoles totales de las pastas de cacao.

Tabla 3.20. Resumen de investigaciones sobre los polifenoles totales de pastas de cacao

Procedencia	Condiciones de Operación	Polifenoles totales (mgAG/g b.s.)	Referencia
Colombia, Santander, criollo	F. cesta, S. Sol, T. 160 °C 60 min	34,05	Cadena y Herrera, (2008, p. 50)
Ecuador, Quevedo, Criollo	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	58,80	Luna et al. (2002, p. 3529)
Ecuador, Quevedo, Nacional	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	66,50	Luna et al. (2002, p. 3529)
Nicaragua, Matagalpa, trinitario	F. cajón, S. sol, T. 150 °C 45 min	39,00	Suazo (2012, p. 44)
Venezuela, Chuao, criollo	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 150 °C 30min	27,00	Pérez et al. (2002, p. 165)

F: fermentación, S: secado, T: tostado, BS: en base seca, AG: ácido gálico

El intervalo de los polifenoles totales de la tabla se ubicó entre 27,00 – 65,50 mgAG/g en base seca. Al comparar el rango con las medidas de polifenoles totales de las pastas de cacao de Lago Agrio y Santo Domingo se concluye que ambas se aproximaron por encima del límite inferior.

La mayoría de los parámetros medidos a las pastas de cacao se encontraron dentro de los intervalos presentados por otros autores, a excepción de la humedad en b.h. de la pasta de cacao de Santo Domingo que se ubicó por debajo del intervalo, y la acidez titulable en b.s. de la pasta de Lago Agrio que se situó encima del rango.

3.4.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Los resultados del análisis sensorial para las pastas de cacao de ambas procedencias se muestran en la tabla 3.21. Los intervalos corresponden a una escala de 0 a 10, donde los extremos representan intensidad débil a fuerte.

Tabla 3.21. Características sensoriales de las pastas de cacao

Característica	Lago Agrio	Santo Domingo
Olor a chocolate	6,82 ± 0,97	7,83 ± 1,70
Olor extraño	1,29 ± 0,94	0,76 ± 0,72
Sabor a chocolate	7,20 ± 0,87	7,78 ± 1,37
Acidez	1,43 ± 0,71	1,20 ± 0,89
Amargor	1,45 ± 0,78	1,91 ± 0,92
Sabor extraño	1,16 ± 0,75	0,71 ± 0,82

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 12); n: número de repeticiones

Pese al entrenamiento, las desviaciones estándar de la tabla se ubicaron entre 12,1 – 115,5 %, las cuales fueron muy altas debido a la similitud de las muestras de las pastas de cacao, a la falta de experiencia de los panelistas en el análisis de las propiedades organolépticas y/o errores experimentales durante las pruebas.

En forma general se aprecia que las medidas de olor y sabor a chocolate tuvieron alta intensidad, superior a 6,5, mientras los parámetros de acidez, amargor, olor y sabor extraño tuvieron baja intensidad con valores inferiores a 2.

La pasta de cacao de Santo Domingo tuvo mayor medida de olor a chocolate por 14,8 %, sabor a chocolate por 8,1 % y amargor por 31,7 % pero menor valor de olor extraño por 69,7 %, acidez por 19,2 % y sabor extraño por 63,4 % en relación de la pasta de Lago Agrio. En consecuencia la pasta de Santo Domingo tuvo mejores propiedades sensoriales que la de Lago Agrio porque presentó mayor intensidad de olor y sabor a chocolate, las cuales son características idóneas de una pasta de cacao para formular chocolate negro.

En la tabla 3.22 se exponen un resumen de la precepción sensorial de pastas de cacao de otras procedencias. Es importante señalar que en la tabla se ha agrupado el olor y sabor a chocolate en aroma a chocolate y el olor y sabor extraño en aroma extraño.

Las pastas de cacao de procedencia ecuatoriana de la tabla 3.22 tienen valores entre 2,59 – 9,66 para aroma a chocolate, 2,68 - 8,26 para acidez, 3,20 - 9,16 para amargor y 0,06 - 1,72 para aroma extraño. En relación a los intervalos antes mencionados las pastas de cacao de la presente investigación se encuentran: próximas al límite superior de aroma a chocolate, 46,6 % debajo del límite inferior de acidez para Lago Agrio y 55,2 % debajo del mismo para Santo Domingo, 54,7 % debajo del límite inferior de amargor para Lago Agrio y 40,3 % debajo del mismo para Santo Domingo, y cerca de la mitad del rango de aroma extraño. Las pastas de cacao del presente estudio podrían tener mejores propiedades organolépticas que las pastas ecuatorianas antes citadas porque tienen similares calificaciones de aroma a chocolate y extraño, pero inferiores valores de acidez y amargor.

Los parámetros sensoriales de pastas de otros países de la tabla 3.22 fluctúan entre 3,90 - 6,50 para aroma a chocolate, 1,10 - 6,42 para acidez, 2,10 - 5,88 para amargor y 0,10 - 5,53 para aroma extraño. Al comparar con los resultados del análisis sensorial de las pastas de cacao de la tabla 3.20, se estableció su ubicación: 4,9 – 10,8 % encima del límite superior de aroma a chocolate para Lago Agrio y 19,7 -20,5 % del mismo para Santo Domingo, próximo al límite inferior de acidez, 31,0 % debajo del límite inferior de amargor para Lago Agrio y 9,0 % del mismo para Santo Domingo, y cerca del límite inferior de aroma extraño. El amargor de las pastas de cacao es más bajo que el dado por otros autores, esto quizás se debe a que la adición de carbonato de potasio que disminuye la sensación amarga.

Los parámetros sensoriales de las pastas estudiadas en relación a los resultados de otras pastas ecuatorianas se encontraron dentro de los intervalos a excepción de la acidez y el amargor que se ubicaron por debajo.

Tabla 3.22. Resumen de investigaciones sobre el análisis sensoriales de pastas de cacao

Procedencia	Condiciones de Operación	Aroma a chocolate	Acidez	Amargor	Aroma extraño	Referencia
Ecuador, Colón Eloy, criollo	F. cajón 5 días, S. sol, T. 115 °C 20 min	9,66	6,50	6,72	0,10	Palacios (2008, p. 202)
Ecuador, criollo	F. cajón 5 días, S. sol, T. 110 °C 20 min	5,40	4,00	3,20	-	(Navia y Pazmiño, 2012, p. 74)
Ecuador, Machala, CCN51	F. cajón, S. sol, T. 140 °C 25 min	3,21	3,98	5,90	0,56	Villavicencio (2001, p. 73)
Ecuador, Nacional,	F. cajón 5 días, S. sol, T. 115 °C 20 min	9,94	8,26	9,16	0,06	Palacios (2008, p. 202)
Ecuador, Naranjal, Nacional	F. cajón, S. sol, T. 140 °C 25 min	2,59	2,10	4,10	1,12	Villavicencio (2001, p. 73)
Ecuador, Pichilingue, Criollo	F. cajón, S. sol, T. 128 °C 18 min	3,89	4,14	3,67	1,47	Sánchez (2007, p. 49)
Ecuador, Pichilingue, Nacional	F. cajón, S. sol, T. 128 °C 18 min	2,83	4,11	4,11	1,72	Sánchez (2007, p. 49)
Ecuador, Quevedo, Nacional	F. cesta 2 días, S. Sol, T. 210 °C 12min	6,20	3,20	4,80	-	Luna et al. (2002, p. 3529)
Ecuador, Quinsaloma, Nacional	F. cajón 3 días, S. sol, T. 140 °C 40 min	8,28	2,68	4,58	-	Díaz, Pinoargote, y Castillo, (2011, p. 5)
Ghana, forastero	F. cajón, S. Sol, T. 120 °C 45min	6,50	4,10	2,90	-	Misnawi et al. (2004b, p. 405)
Ghana, forastero	F. cajón, S. Sol, T. 140°C 30min	6,40	1,10	2,10	0,10	Sukha, et al. (2007, p. 5)
Malasia, Malacca, criollo	F. cajón 5 días, S. sol, T. 150 °C 30 min	4,82	6,42	5,88	5,53	Jinap y Thien (1994, p. 74)
Trinidad y Tobago, trinitario	F. cajón, S. Sol, T. 140 °C 30min	3,90	3,40	2,00	0,20	Sukha, Butler, Umaharan, y Boult (2007, p. 5)

F: fermentación, S: secado, T: tostado

Las propiedades organolépticas de las pastas de Lago Agrio y Santo Domingo en comparación con los valores reportados por pastas de cacao de otros países se situaron dentro del intervalo el aroma extraño y la acidez, mientras el aroma a chocolate se ubicó encima del rango y el amargor debajo del intervalo.

Es importante resaltar que las pastas de cacao ecuatorianas tienen mayor calificación de aroma a chocolate que las de otros países, esto consolida a las pastas de Lago Agrio y Santo Domingo como altas en calidad sensorial.

3.5 DISEÑO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO

El convenio “Fortalecimiento de la cadena agroproductiva del cacao, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas” pretende construir un complejo productivo que permita el procesamiento de las semillas de cacao frescas para comercializarlas como semillas secas fermentadas, pasta de cacao y/o chocolate. Por lo expuesto el complejo tendrá varias áreas productivas, sin embargo en el presente trabajo se muestra solo el diseño del área de producción de pasta de cacao. Un extracto con la información de interés de la prefectura de Santo Domingo de los Tsáchilas para el diseño se presenta en el Anexo VII.

Las semillas de cacao secas fermentadas serían provistas por el área de secado del complejo productivo, estas cumplirían con las pautas de calidad dadas por la norma INEN 176 (2012). El producto final sería pasta de cacao que cumpliría con la norma INEN 623 (1988). Cada unidad de producto final pesaría 30 kg en estado sólido, y se presentaría dentro de una funda de polietileno en una caja de cartón.

El área de producción se ubicaría en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Puerto Limón, la cual se encuentra en el km 15 de la vía Santo Domingo – Quevedo.

Se calculó la materia prima que ingresaría al área de producción de pasta de cacao en función de las hectáreas sembradas por los agricultores suscritos al convenio y el rendimiento reportado por el SINAGAP (2014) para la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas en el año 2012, dando como resultado 660,16 toneladas de cacao seco fermentado por año.

Se consideró que la materia prima tendía ligeras fluctuaciones anuales en su producción, que existiría la disponibilidad de servicios industriales como: agua, energía eléctrica, internet, entre otros. Además se estableció que no existirían inconvenientes por contratación de personal y traslado del mismo hasta el complejo productivo.

El dimensionamiento de equipos se realizó tomando el rendimiento entre operaciones unitarias dado en la tabla 3.12 para la procedencia de Santo Domingo y asumiendo 1 920 horas de trabajo al año (corresponde a 48 semanas de 40 horas cada una), y un 1,25 de factor de sobredimensionamiento de equipos. Se estableció un flujo semicontinuo de la producción. En el Anexo VIII se presenta el balance de masa realizado para el cálculo del flujo de producción en cada proceso.

Se definió las mismas condiciones de operación utilizadas en la parte experimental del presente proyecto. Se realizó la selección de equipos con base a las capacidades requeridas y las condiciones de operación, vía catálogo. Las hojas de especificación de los equipos se muestran en el Anexo IX.

Se establecieron 7 operarios ubicados de la siguiente manera: 2 en limpieza, 1 en tostado y enfriamiento, 1 en descascarillado, 1 en molienda y 2 en empacado y almacenamiento. Además se dispuso de un jefe de planta para el área de producción de pasta de cacao. Se delimitó la bodega de insumos, no así la bodega de materia prima y producto terminado debido a que estos espacios ya fueron destinados en superficies aledañas al área de producción de pasta de cacao, por el proyecto del gobierno provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas.

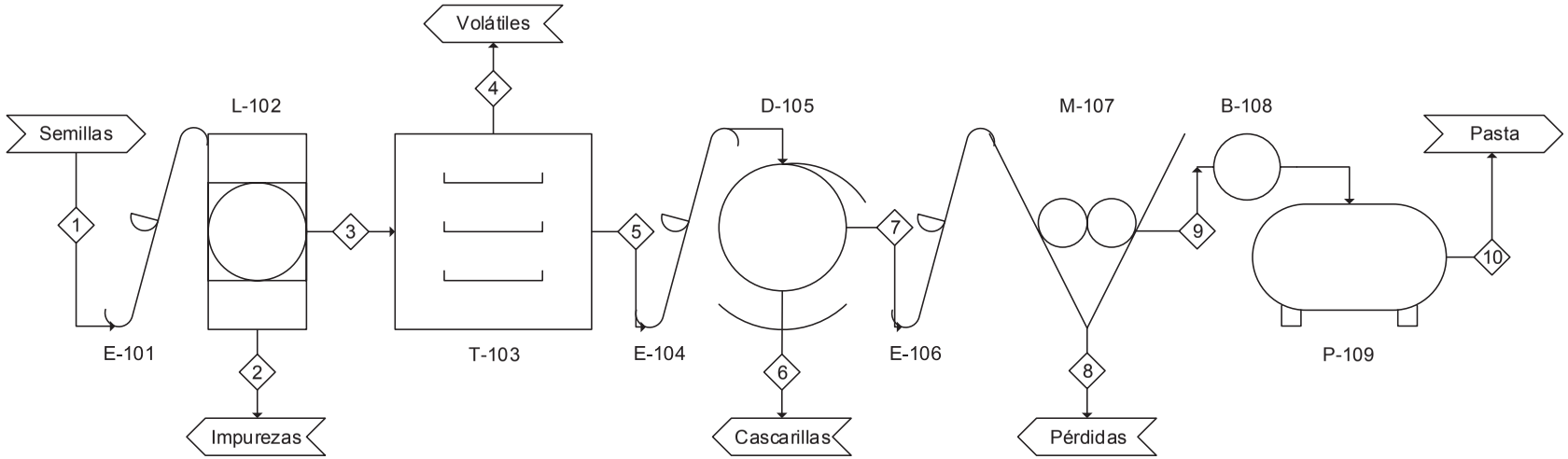
En la tabla 3.23 se presenta la nomenclatura de los equipos que se utilizaría en el PFD y LAYOUT del área de producción de pasta de cacao.

Tabla 3.23. Nomenclatura de los equipos y los transportes en el PFD y el LAYOUT

Nomenclatura	Equipo
E – 101 E – 104 E – 106	Elevador de cangilones
L - 102	Limpiadora
T - 103	Tostadora
D - 105	Descascarilladora
M - 107	Molino
B - 108	Bomba
P - 109	Empacadora

En la figura 3.12 se observan el PFD del área de producción con su respectivo cuadro de corrientes y en la figura 3.13 el LAYOUT del área de producción con el flujo de materia prima y la ubicación de los operarios.

El objetivo y desarrollo de cada operación unitaria que se realizaría en el área de producción se detalla en las siguientes líneas. Primero la limpieza elimina los restos vegetales, los metales y el polvo para ello se utilizaría tamices, imanes magnéticos y circulación de aire. Luego el tostado permite el desarrollo de olor y sabor a chocolate y la deshidratación de las semillas hasta alcanzar una humedad entre 1,5 – 2,5 %, entonces se expondría a las semillas a temperatura de 150 °C por 40 minutos. Seguido el enfriamiento de las semillas facilita el descascarillado y se realizaría con aire a temperatura ambiente (25 °C) y agitación de las semillas. Después el descascarillado remueve la cascarilla mediante la trituración y ventilación de las semillas tostadas. A continuación la molienda reduce el tamaño de partícula de los cotiledones tostados hasta 45 μm, mediante la fricción de los mismos entre los discos, cabe destacar que el rozamiento genera la fundición de la pasta de cacao a temperaturas entre 60 – 70 °C.



Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	25,00	25,00	25,00	150,00	25,00	25,00	25,00	70,00	70,00	30,00
Flujo másico (kg/h)	343,83	16,40	327,43	20,17	307,26	34,26	273,00	7,46	271,15	263,69
Semillas de cacao (kg/h)	343,83		327,43		307,26					
Impurezas (kg/h)		16,40								
Volátiles (kg/h)				20,17						
Cascarillas (kg/h)						34,26				
Cotiledones tostados (kg/h)							273,00			
Pérdidas (kg/h)								7,46		
Pasta de cacao (kg/h)									271,15	263,69

Figura 3.12. PFD del área de producción de pasta de cacao

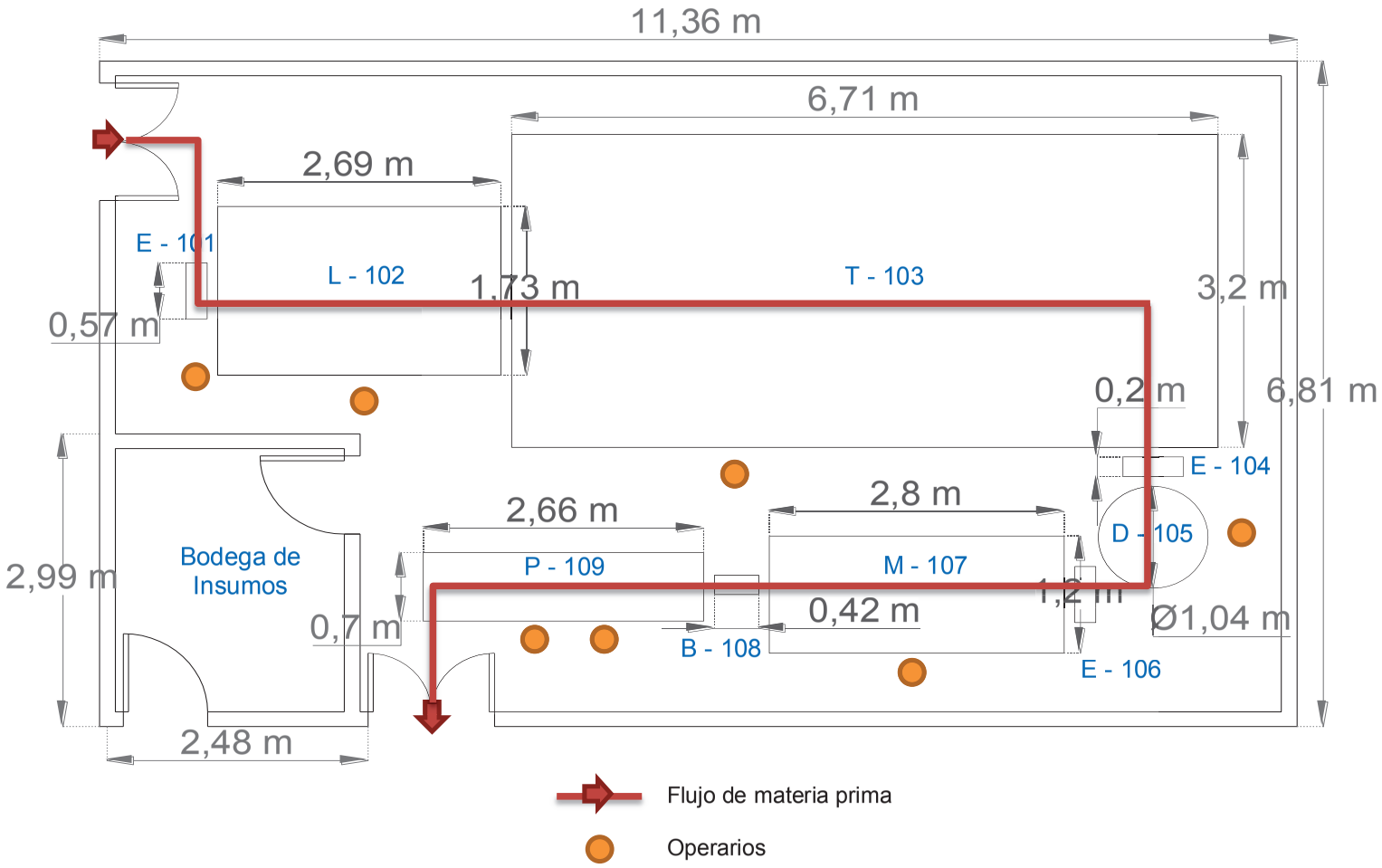


Figura 3.13. LAYOUT del área de producción de pasta de cacao

Finalmente el empacado permite el traslado y comercialización del producto final, para ello se introduciría pasta de cacao a temperatura de 30 °C en las cajas con fundas de polietileno, luego se almacenaría el producto terminado en bodegas frescas y secas.

Como se puede observar en el LAYOUT, la distribución de los equipos fue en “u” modificada, para aprovechar la superficie y evitar una contaminación entre la materia prima y el producto terminado. Se planteó dos entradas amplias, una para el ingreso de materia prima y otra para la salida del producto terminado. Además el área contaría con una bodega de insumos. El área de producción de pasta de cacao requeriría una superficie total de 77,36 m^2.

3.6 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO

Con base en el diseño del área de producción, se realizó la estimación del costo de implementación y del costo producción de un mes considerando 40 horas laborables, además se determinó el costo unitario de una caja de 30 kg de pasta de cacao y el precio de venta al público de la misma con una utilidad del 25 %.

Se estableció los costos de los equipos requeridos, mediante una cotización proporcionada por SICA Ingeniería. Un extracto de la misma se presenta en el anexo X. En la tabla 3.24 se presenta el precio de los equipos, el cual incluye conceptos de instalación e impuestos.

Se destinaría alrededor de 12 mil dólares para la obra civil del área de producción, en consecuencia el costo de implementación bordearía los 220 238,24 dólares.

Se calculó el costo de producción de un mes de operación del área. Entre los costos se consideró; materia prima, insumos, mano de obra, suministros industriales, mantenimiento y depreciación de equipos e imprevistos.

Tabla 3.24. Costos de los equipos del área de producción de pasta de cacao

Equipo	Cantidad	Costo Unitario (dólares)	Costo Total (dólares)
Bomba	1	7 541	8 445,92
Elevador de cangilones	3	6 066	20 381,76
Limpiadora	1	15 763	17 654,56
Tostadora	1	62 119	69 573,28
Descascarilladora	1	19 247	21 556,64
Molino	1	34 317	38 435,04
Empadadora	1	28 742	32 191,04
TOTAL COSTOS DE EQUIPOS			208 238,24

En la tabla 3.25 se muestra el desglose del costo de producción del área para un mes de 20 días con 8 horas diarias laborables.

Tabla 3.25. Costo de producción mensual del área de producción de pasta de cacao

Costos Fijos y Variables	Concepto	Cantidad	Medida	Costo unitario (dólares)	Costo mensual (dólares)
Materia Prima	Semillas de cacao	68 768,00	kg	2,64	181 547,52
Insumos	Cartón	1 760,00	Unidades	1,50	2 640,00
	Funda de polietileno	1 760,00	Unidades	0,10	176,00
Mano de Obra	Operarios	7,00	Personas	397,00	2 779,00
	Jefe de área	1,00	Personas	1 167,00	1 167,00
Suministros industriales	Energía eléctrica	64 800,00	kW/h	0,09	5 832,00
Mantenimiento	Mantenimiento de equipos	208 238,24	dólares	6 247,15	6 247,15
Depreciación	Depreciación de equipos	208 238,24	dólares	1 156,88	1 156,88
Imprevistos	Imprevistos de Materia Prima e Insumos	184 363,52	dólares	1 843,64	1 843,64
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN					203 389,18

Se definió un costo de 2,64 dólares por kg de pasta de cacao. Se calculó el número de cartones y fundas de polietileno necesarias para la producción de un

mes. Se fijó el sueldo de los operarios y del jefe de planta en un salario básico unificado y mil dólares, respectivamente, a esto se le sumó el seguro social. Se determinó la energía eléctrica requerida según la cantidad que consumen los equipos y el tiempo uso. Se destinó un valor correspondiente al 3 % del total de costos de los equipos para el mantenimiento. Se realizó la depreciación de los equipos para 15 años dividiendo el valor del equipo para el tiempo mencionado. Se presupuestó el 1 % del costo mensual de materias primas e insumos para imprevistos.

Al dividir el costo de producción para el número de unidades de cajas de pasta de cacao producidas, se obtiene el costo unitario, el cual corresponde a 115,56 dólares. Se estableció una utilidad del 25 %, que al incrementar al precio unitario da como resultado el precio de venta al público de una caja de pasta de cacao, que corresponde a 144,45 dólares.

Al comparar el precio de venta obtenido con los precios del mercado y de otras investigaciones (ANECACAO, 2013c, p. 5; Cueva, 2012, p. 98), que corresponden a 170,83 y 187,50, respectivamente. Se concluye que el precio de la caja de 30 kg de pasta de cacao del presente proyecto es competitivo en 15,4 % y 23,0 % respecto a los valores antes expuestos en el mismo orden.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La caracterización física y química de las semillas de cacao de Santo Domingo sugirió que existieron deficiencias en el proceso de fermentación por su color ligeramente violeta, en cambio la de Lago Agrio mostró falencias en el proceso de secado por su humedad superior al 10 %.

- Las semillas de cacao de Santo Domingo presentaron mejores características que las semillas de Lago Agrio, porque presentan: menor humedad y acidez titulable, mayor peso y polifenoles totales y similares tamaños, porcentaje de cascarilla, color, grasa total, azúcares y pH.

- El procesamiento que recibieron todos los tratamientos del diseño experimental fueron similares así lo demostraron los monitoreos a los procesos.

- El factor procedencia influyó en todas las características físicas, químicas y sensoriales de la pasta de cacao. Sin embargo es importante destacar que implícitamente puede existir variaciones en las características antes mencionadas por procesos como manejo del cultivo y poscosecha, los cuales no fueron considerados en el presente trabajo.

- La aplicación de tratamientos previos al tostado no influyó en el color, la humedad, la acidez titulable, y en las propiedades sensoriales de olor y sabor a chocolate, acidez, amargor y olor y sabor extraño de las pastas de cacao.

- Existieron diferencias significativas en las medias de pH y polifenoles totales de las pastas de cacao obtenidas de la aplicación de tratamientos previos al tostado.

- El mejor resultado para ambas procedencias se obtuvo con el tratamiento 4 de solución acuosa de glucosa y carbonato de potasio. Al realizar este tratamiento previo, se obtuvieron mayores valores de pH y polifenoles totales en relación al blanco, los cuales son favorables a las características de la pasta.

- La caracterización de las pastas de cacao presentaron similares valores a los reportados por otros autores destacándose que tienen color café oscuro, humedad menor al 2 %, grasa total superior al 53 %, pH cercano a 6, alta acidez titulable, polifenoles totales mayor a 30 mgAG/g y fuerte olor y sabor a chocolate.

- Para procesar 330 kg/h de semillas de cacao se requeriría un área de producción de pasta de cacao de 77,36 m^2, de la cual se estimó un costo de implementación sobre los 220 mil dólares.

- El costo de producción de una caja de 30 kg de pasta de cacao sería de 115,35 dólares, y el precio de venta al público con un margen de utilidad del 25 % llegaría a 144,45 dólares, el cual es más competitivo en el mercado por 23 %.

4.2 RECOMENDACIONES

- Conseguir muestras de semillas secas fermentadas de dos lugares que tengan un certificado de pertenecer a la misma variedad genética y hayan tenido las mismas condiciones de cultivo y tratamientos poscosecha, para establecer con mayor certeza el efecto de la procedencia.

- Investigar la influencia de la temperatura y tiempo de tostado sobre las características físicas, químicas y sensoriales de las pastas de cacao

obtenidas de la aplicación de los tratamientos propuestos en este trabajo, para plantear mejores condiciones de operación.

- Determinar las mejores proporciones de agua, glucosa y carbonato de potasio que deberían ser añadidas en el tratamiento previo al tostado para potencializar las reacciones de Maillard.

- Realizar un estudio de la polimerización de las epicatequinas para determinar el mecanismo que ayuda a su conservación durante el tostado.

- Efectuar un análisis del beneficio social de la implementación del área de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas para determinar el número de familias beneficiadas con este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acuña, L., y Hernández, E. (2010). Caracterización fisicoquímica de los genotipos de cacao CSS80, SUI32 y estudio de las variables que influyen en la etapa de tostado. (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico no publicado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

2. Adeyeye, E. I., Akinyeye, R. O., Ogunlade, I., Olaofe, O., y Boluwade, J. O. (2010). Effect of farm and industrial processing on the amino acid profile of cocoa beans. Food Chemistry, 118(2), 357–363. doi:10.1016/j.foodchem.2009.04.127

3. Afoakwa, E. O. (2010). Chocolate Science and Technology (1era. ed.). Oxford, Reino Unido: John Wiley y Sons Ltd. doi:10.1002/9781444319880

4. Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., y Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48(9), 840–57. doi:10.1080/10408390701719272

5. Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., y Vieira, J. (2008). Particle size distribution and compositional effects on textural properties and appearance of dark chocolates. Food Engineering, 87(2), 181–190. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.11.025

6. Álvarez, C., Pérez, E., y Lares, M. (2007). Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. Agronomía Tropical, 57(4), 249–256.

7. Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., Girón, C., y De Farias, A. (2010). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (Theobroma cacao L.) usando dos tipos de fermentadores. UDO Agrícola, 10(1), 76–87.

8. Amores, F. (2002). Ecuador: pasado, presente y fututo de la investigación en cacao. Quevedo, Ecuador: INIAP. Recuperado de http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Pasado_presente_cacao_Freddy_Amores_INIAP.pdf (Octubre, 2014)

9. Amores, F., Agama, J., Mite, F., Jiménez, J., Loor, G., y Quiroz, J. (2009). EET 544 y EET 558 nuevos clones de cacao nacional para la producción bajo riego en Santa Elena. Recuperado de http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com_sobi2ysobi2Task=sobi2Detailsycatid=2ysobi2Id=602yItemid= (Octubre, 2014)

10. Amores, F., Agama, J., Suárez, C., Quiroz, J., y Motato, N. (2009). EET 575 y EET 576 nuevos clones de cacao nacional para la zona central de Manabí. Recuperado de http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com_sobiproypid=57ysid=617:EET-575-y-EET-576-Nuevos-clones-de-cacao-nacional-para-la-Zona-Central-de-ManabiyItemid=0 (Octubre, 2014)

11. ANECACAO. (2012). Información nacional e internacional. Recuperado de http://www.anecacao.com/es/estadisticas/ (Octubre, 2014)

12. ANECACAO. (2013a). Cacao CCN 51. Recuperado de http://www.anecacao.com/es/cacao-ccn-51/ (Octubre, 2014)

13. ANECACAO. (2013b). Cacao Nacional. Recuperado de http://www.anecacao.com/es/cacao-nacional/ (Octubre, 2014)

14. ANECACAO. (2013c). Estadísticas de exportaciones de cacao en semptiembre de 2013. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de http://www.anecacao.com/es/estadisticas-historicas/ (Octubre, 2014)

15. ANECACAO. (2013d). Mapa de Sabores. Recuperado de http://www.anecacao.com/es/mapa-de-sabores/ (Octubre, 2014)

16. AOAC. (2005). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Cacao Beans and Its Products (18va. ed.). Arlington., Estados Unidos: AOAC International.

17. Araujo, Q., Fernandes, C., Ribeiro, D., Efraim, P., Steinmacher, D., Lieberei, R., … Araujo, T. (2014). Cocoa Quality Index – A proposal. Food Control, 46, 49–54. doi:10.1016/j.foodcont.2014.05.003

18. Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J., y Streit, C. (2000). Cacao. In Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico (1era. ed.). Gräfelfing, Alemania: Naturland. Recuperado de http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Publication/Espanol/cacao.pdf (Octubre, 2014)

19. Barreiro, J., y Sandoval, A. (2006). Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas (1era. ed.). Caracas, Venezuela: Equinoccio. Recuperado de http://books.google.es/books?id=r7y3XuFAB8UCyhl=es (Octubre, 2014)

20. Bart-Plange, A., y Baryeh, E. (2003). The physical properties of Category B cocoa beans. Food Engineering, 60(3), 219–227. doi:10.1016/S0260-8774(02)00452-1

21. Batista, L. (2009). El Cultivo de Cacao (1era. ed.). Santo Domingo, Repúplica Dominicana: CEDAF. Recuperado de http://www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf (Octubre, 2014)

22. BCE. (2014). Comercio Exterior. Recuperado de http://contenido.bce.fin.ec//documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Anuario/Anuario32/3.2-36.xls (Octubre, 2014)

23. Beckett, S. (2008). The Science of Chocolate (2da. ed.). York, Estados Unidos: RCS Publishing.

24. Beckett, S. (2009). Industrial chocolate manufacture and use (4ta. ed.). Oxford, Reino Unido: John Wiley y Sons Ltd.

25. Belchior, T., y Genovese, M. I. (2013). Chemical composition of cupuassu (Theobroma grandiflorum) and cocoa (Theobroma cacao) liquors and

their effects on streptozotocin-induced diabetic rats. Food Research International, 51(2), 929–935. doi:10.1016/j.foodres.2013.02.019

26. Bertazzo, A., Comai, S., Brunato, I., Zancato, M., y Costa, C. V. L. (2011). The content of protein and non-protein (free and protein-bound) tryptophan in Theobroma cacao beans. Food Chemistry, 124(1), 93–96. doi:10.1016/j.foodchem.2010.05.110

27. Bisson, J. F., Guardia-Llorens, M. A., Hidalgo, S., Rozan, P., y Messaoudi, M. (2008). Protective effect of Acticoa powder, a cocoa polyphenolic extract, on prostate carcinogenesis in Wistar- Unilever rats. Eur. J. Cancer Prev., 17(1), 54–61. doi:10.1097/CEJ.0b013e3280145b33

28. Bonaparte, A., Alikhani, Z., y Madramootoo, C. A. (1998). Some Qualit y Characteristics of Solar-Dried Cocoa Beans in St Lucia. Food and Agriculture, 79(1), 553–558. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(199804)76:4<553::AID-JSFA986>3.0.CO;2-V

29. Borges, P., Galasso, M., Dias, V., Mandrioli, M., Pereira, L., Rodriguez-Estrada, M. T., y Alves, I. (2014). Oxidative stability of functional phytosterol-enriched dark chocolate. LWT - Food Science and Technology, 55(2), 444–451. doi:10.1016/j.lwt.2013.09.002

30. Brito, E., Pezoa, N., Gallao, M., Cortelazzo, A., Fevereiro, P., y Braga, M. (2001). Structural and chemical changes in cocoa (Theobroma cacao L) during fermentation , drying and roasting. Food and Agriculture, 81(1), 281–288. doi:10.1002/1097-0010(20010115)81:2<281::AID-JSFA808>3.0.CO;2-B

31. Cadena, T., y Herrera, Y. (2008). Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su capacidad antioxidante. (Trabajo de grado para optar al título de Química no publicado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

32. Cooper, K. a, Donovan, J. L., Waterhouse, A. L., y Williamson, G. (2008). Cocoa and health: a decade of research. The British Journal of Nutrition, 99(1), 1–11. doi:10.1017/S0007114507795296

33. Counet, C., Callemien, D., Ouwerx, C., y Collin, S. (2002). Use of gas chromatography- olfactometry to identify key odorant compounds in dark chocolate. Comparison of samples before and after conching. Agriculture and Food Chemistry, 50(1), 2385–2391. doi:10.1021/jf0114177

34. Counet, C., Ouwerx, C., Rosoux, D., y Collin, S. (2004). Relationship between procyanidin and flavor contents of cocoa liquors from different origins. Agricultural and Food Chemistry, 52(20), 6243–9. doi:10.1021/jf040105b

35. Cueva, E. (2012). Proyecto de prefactibilidad para la exportación de pasta de cacao orgánico de Puerto Quito. (Tesis de grado para la obtención del título de magister en negocios internacionales no publicado). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

36. Díaz, L., Pinoargote, M., y Castillo, P. (2011). Análisis de las Características Organolépticas del Chocolate a partir de Cacao CCN51 Tratado Enzimáticamente y Tostado a Diferentes Temperaturas. (Tesis de grado previo a la obtención de Ingeniero de Alimentos no publicado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

37. Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2012). Hoja botánica : Cacao (1era. ed.). Lima, Perú: Botconsult GmbH. Recuperado de http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf (Octubre, 2014)

38. Duguma, B., Gockowski, J., y Bakala, J. (2001). Smallholder Cacao (Theobroma cacao Linn.) cultivation in agroforestry systems of West

and Central Africa : challenges and opportunities. Agroforestry Systems, 51(3), 177–188. doi:10.1023/A:1010747224249

39. El Agro. (2014). Recuperación del cacao fino o de aroma en el Ecuador. 217. Guayaquil, Ecuador: UMINASA. Recuperado de http://www.youblisher.com/p/972930-Edicion-217-Revista-El-Agro/ (Octubre, 2014)

40. Fowler, M. S. (2009). Cocoa Beans: from Tree to Factory. In Indsutrial chocolate manufacture and use (4ta. ed., pp. 10–47). Oxford, Reino Unido: John Wiley y Sons Ltd.

41. Gebhardt, S. E., y Thomas, R. G. (2001). Changes in the USDA nutrient database for standard reference in response to the new dietary reference intakes. Journal of the American Dietetic Association, 101(9), 1–12.

42. Georgé, S., Brat, P., Alter, P., y Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(5), 1370–3. doi:10.1021/jf048396b

43. Giacometti, J., Jolic, S., y Josic, D. (2015). Cocoa Processing and Impact on Composition. In Beverages (pp. 605–612). doi:10.1016/B978-0-12-404699-3.00072-X

44. Gil, A. (2012). Estabilidad y actividad antioxidante de catequinas presentes en cacaos colombianos durante los procesos de pre e industrialización. (Trabajo de grao para optar por el título de magíster en Ciencias Farmacéuticas no publicado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

45. Gobierno Provincial de Santo Domigno de los Tsáchilas. (2013). Línea base del proyecto fortalecimiento de la cadena agroproductiva del cacao en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Santo Domingo, Ecuador. Recuperado de http://www.santocacao.ccd.ec/ (Octubre, 2014)

46. González, Y., Pérez, E., y Palomino, C. (2012). Factores que inciden en la calidad sensorial del chocolate. Actualización En Nutrición, 13(4), 314–331.

47. Granado-Serrano, A. B., Martín, M. A., Bravo, L., Goya, L., y Ramos, S. (2009). A diet rich in cocoa attenuates N-nitrosodiethylamine-induced liver injury in rats. Food and Chemical Toxicology, 47(10), 2499–506. doi:10.1016/j.fct.2009.07.007

48. Grassi, D., Lippi, C., Necozione, S., Desideri, G., y Ferri, C. (2005). Short-term administration of dark chocolate is followed by a significant increase in insulin sensitivity and a decrease in blood pressure in healthy persons. The American Journal of Clinical Nutrition, 81(3), 611–614.

49. Hall, H., Yuncong, L., Comerford, N., Arévalo, E., Zuñiga, L., Baligar, V., y Popenoe, H. (2010). Cover crops after phosphorus soil fractions and organic matter accumulation in a Peruvian cacao. Agroforestry Systems, 80(3), 447–455. doi:10.1007/s10457-010-9333-8

50. Hashim, P., Selamat, J., Kharidah, S., y Ali, A. (1998). Effect of Mass and Turning Time on Free Amino Acid , Peptide-N , Sugar and Pyrazine Concentration during Cocoa Fermentation. Science Food Agriculture, 78(1), 543–550. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(199812)78:4<543::AID-JSFA152>3.0.CO;2-2

51. Herrera, C., Bolaños, N., y Lutz, G. (2003). Quimica de alimentos: manual de laboratorio (1era. ed.). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado de http://books.google.com.ec/books/about/Qu%C3%ADmica_de_Alimentos.html?id=8VpJ8foyDiIC (Octubre, 2014)

52. Hii, C. L., Law, C. L., Cloke, M., y Suzannah, S. (2009). Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. Biosystems Engineering, 102(2), 153–161. doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.10.007

53. Hii, C. L., Law, C. L., Suzannah, S., Misnawi, J., y Cloke, M. (2009). Polyphenols in cocoa (Theobroma cacao L.). Asian Journal of Food and Agro-Industry, 2(04), 702–722.

54. INEN. (1988). NTE INEN 623 Pasta de cacao Requisitos. Quito, Ecuador.

55. INEN. (1989a). NTE INEN 173 Cacao en grano. Determinación de la humedad (pp. 1–3). Quito, Ecuador.

56. INEN. (1989b). NTE INEN 174. Cacao en grano. Determinación del contenido de grasa (pp. 1–4). Quito, Ecuador.

57. INEN. (1995). NTE INEN 177. Cacao en grano. Muestreo. Quito, Ecuador.

58. INEN. (2012). NTE INEN 176 Cacao en grano Requisitos. Quito, Ecuador.

59. Jinap, S., y Thien, J. (1994). Effect of Drying on Acidity and Volatile Fatty Acids Content of Cocoa Beans. Food Agriculture, 65(1), 67–75. doi:0022-5142/94

60. Jousse, F., Jongen, T., Agterof, W., Russell, S., y Braat, P. (2002). The Maillard Reaction. Food Science, 67(7), 2534–2542. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb08772

61. Kamphuis, H. (2009). Production and quality standards of cocoa mass, cocoa butter and cocoa powder. In Industrial chocolate manufacture and use (4ta. ed.). Oxford, Reino Unido: John Wiley y Sons Ltd.

62. Kothe, L., Zimmermann, B. F., y Galensa, R. (2013). Temperature influences epimerization and composition of flavanol monomers, dimers and trimers during cocoa bean roasting. Food Chemistry, 141(4), 3656–63. doi:10.1016/j.foodchem.2013.06.049

63. Lambert, J. P. (2009). Nutrition and health aspects of chocolate. In Industrial chocolate manufacture and use (4ta. ed.). Oxford, Reino Unido: John Wiley y Sons Ltd.

64. Lares, M., Gutiérrez, R., Pérez, E., y Álvarez, C. (2012). Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal

y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. UDO Agrícola, 12(2), 439–446.

65. Luna, F., Crouzillat, D., Cirou, L., y Bucheli, P. (2002). Chemical composition and flavor of ecuadorian cocoa liquor. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(12), 3527–3532. doi:10.1021/jf0116597

66. MyO CONSULTING. (2008). Marco General de la Diversidad Genética del Cacao. In Estudio de Caracterización del Potencial Genético del Cacao en el Perú (1era. ed., pp. 4–21). Lima, Perú: MINAG.

67. Martin, M. A., Goya, L., y Ramos, S. (2013). Potential for preventive effects of cocoa and cocoa polyphenols in cancer. Food and Chemical Toxicology, 56(1), 336–51. doi:10.1016/j.fct.2013.02.020

68. Martínez, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., y Fiszman, S. M. (2010). Determinación instrumental y sensorial del color de “Magdalenas de Chocolate” elaboradas con fibra de cacao como reemplazante de grasa. In IX Congreso Nacional del Color (pp. 323–326). Alicante. Recuperado de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16471/1/actas_IX_CNC_82.pdf (Octubre, 2014)

69. Minifie, B. W. (1989). Chocolate, Cocoa and Confectionery –Science and Technology (1era. ed., p. 1989). Londres, Reino Unido: Chapman y Hall.

70. Misnawi, J., Jinap, S., Jamilah, B., y Nazamid, S. (2004a). Effect of polyphenol concentration on pyrazine formation during cocoa liquor roasting. Food Chemistry, 85(1), 73–80. doi:10.1016/j.foodchem.2003.06.005

71. Misnawi, J., Jinap, S., Jamilah, B., y Nazamid, S. (2004b). Sensory properties of cocoa liquor as affected by polyphenol concentration and duration of roasting. Food Quality and Preference, 15(5), 403–409. doi:10.1016/S0950-3293(03)00097-1

72. Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos (2da .ed.). México D. F., México: Limusa Wiley.

73. Moreno, C. (2009). Desarrollo y evaluación de un chocolate funcional incorporando dos tipos de extracto a dos concentraciones de dulcamara (Solanum dulcamara L.). (Proyecto especial presentado como requisito parcial para obtar al título de Ingeniero en Agroindutria Alimentaria no plublicado), Zamorano, Honduras.

74. Navia, A., y Pazmiño, N. (2012). Mejoramiento de las características sensoriales del cacao CCN51 a través de la acción de enzimas durante el proceso de fermentación. (Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero de Alimentos no publicado), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

75. Nogales, J., Graziani, L., y Ortiz, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol dle grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. Agronomía Tropical, 56(1), 5–20. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0002-192X2006000100001yscript=sci_arttext (Octubre, 2014)

76. Noor-Soffalina, S. S., Jinap, S., Nazamid, S., y Nazimah, S. A. H. (2009). Effect of polyphenol and pH on cocoa Maillard-related flavour precursors in a lipidic model system. Food Science y Technology, 44(1), 168–180. doi:10.1111/j.1365-2621.2008.01711.x

77. Oliviero, T., Capuano, E., Cämmerer, B., y Fogliano, V. (2009). Influence of roasting on the antioxidant activity and HMF formation of a cocoa bean model systems. Agricultural and Food Chemistry, 57(1), 147–52. doi:10.1021/jf802250j

78. Ortiz, L., Camacho, G., y Graziani, L. (2004). Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano feremntado de cacao. Agronomía Tropical, 54(1), 31–43.

79. Ortiz, L., Graziani, L., y Rovedas, G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. Agronomía Tropical, 59(2), 119–127.

80. Palacios, Á. (2008). Establecimientos de parámetros (físicos, químicos y organolépticos) para diferenciar y valorizar el cacao (Theobroma cacao L.). (Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniro Agrónomo). Universidad Técnica de Manabí, Santa Ana, Ecuador.

81. Paredes, N. (2009). Manual de cultivo de cacao para la Amazonía ecuatoriana. Quito, Ecuador: INIAP. Recuperado de http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/944 (Octubre, 2014)

82. Pazmiño, K. (2005). Estudio del comportamiento de fructosa, glucosa y sacarosa en almendras de cacao de producción nacional durante la fermentación. (Tesis de grado previa a la obtención del título de Doctor en Química). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

83. Pérez, E., Álvarez, C., y Lares, M. (2002). Caracterización física y química de granos de cacao fermentados, secos y tostados de la región de Chuao. Agronomía Tropical, 52(2), 161–172.

84. Pico, J., Calcerón, D., Fernández, F., y Díaz, A. (2012). Guía del manejo integrado de enfermedades del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la amazonía. Joya de los Sachas-Ecuador:INIAP. Recuperado de http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/guia-del-manejo-integrado-de-enfermedades-del-cultivo-de-cacao-theobroma-cacao-l-en-la-amazonia.pdf (Octubre, 2014)

85. Pound, F. J. (1933). Criteria and methods of selection in cacao. Imperial College of Tropical Agriculture, 2(27-29), 1933.

86. PRO ECUADOR. (2011). Análisis sectorial de cacao y elaborados. Quito, Ecuador: MRECI. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-

content/uploads/2013/08/PROEC_AS2013_CACAO.pdf (Octubre, 2014)

87. Quingaísa, E., y Riveros, H. (2007). Estudio de caso: denominacion de origen “cacao arriba.” Quito, Ecuador: FAO.

88. Quiroz, J. (1971, June). Características agronómicas de clones recomendados por el INIAP.

89. Quiroz, J., y Mestanza, S. (2012). Establecimiento y manejo de una plantación de cacao. In Programa Nacional del Cacao. Quevedo, Ecuador: INIAP.

90. Ramírez, P. (2006). Estructura y dinámica de la cadena de cacao en el Ecuador: sistematización de información y procesos en marcha. Quito, Ecuador: FAO.

91. Rangel, M. E. (2009). Anatomía y tolerancia a la desecación de semillas de cacao (Theobroma cacao L.). (Disertación doctoral). Colegio de Posgraduados, Texcoco, México.

92. Redgwell, R. J., Trovato, V., y Curti, D. (2003). Cocoa bean carbohydrates: roasting-induced changes and polymer interactions. Food Chemistry, 80(4), 511–516. doi:10.1016/S0308-8146(02)00320-5

93. Reed, S. (2010). Sensory Analysis of Chocolate Liquor (pp. 1–14). Estados Unidos: Cargill.

94. Reineccius, G. (2006). Flavour Chemistry and Technology (2da. ed.). Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press.

95. Reineccius, G., Andersen, D., Kavanagh, T., y Keeney, P. (1972). Identification and Quantification of the Free Sugars in Cocoa Beans. Agricultural and Food Chemistry, 20(2), 199–202.

96. Rivera, R., Mencías, F., Guzmán, Á., Peña, M., Medina, H., Cassanova, L., … Nivela, P. (2012). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (Theoborma cacao L.) tipo nacional. Ciencia Y Tecnología, 5(1), 7–12.

97. Rodriguez, J., Escalona, H. B., Contreras, S. M., Orozco, I., Jaramillo, E., y Lugo, E. (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. Food Chemistry, 132(1), 277–288. doi:10.1016/j.foodchem.2011.10.078

98. Rodríguez, P., Pérez, E., y Guzmán, R. (2009). Características químicas y fisicoquiímicas del licor d cacao alcalinizado con: carbonato, bicarbonato e hidróxido de sodio. Ciencia Y Tecnología de Alimentos, 1(1), 1–5.

99. Rodríguez, R., Ramos, S., López, E., Agis, A., Gómez, M., Mateos, R., … Martín, M. (2011). Cocoa-rich diet prevents azoxymethane-induced colonic preneoplastic lesions in rats by restraining oxidative stress and cell proliferation and inducing apoptosis. Molecular Nutrition y Food Research, 55(12), 1895–9. doi:10.1002/mnfr.201100363

100. Rohan, T., y Stewart, T. (1965). The Precursors of Chocolate Aroma : Changes in the Sugars During the Roasting of Cocoa Beans. British Food Manufacturing Industries Research Association, 1(1), 206–209. doi:10.1111/j.1365-2621.1966.tb00480.x

101. Romanczyk, L., Hammerstone, J., Buck, M., Post, L., Cipolla, G., Micceland, C., … Schmitz, H. (1997). Cocoa Extract Compounds and Methods for Making and Using the Same. Estados Unidos: Mars Incorporated.

102. Sánchez, V. (2007). Caracterización organoléptica del cacao (Theobroma cacao L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. (Tesis de grado previo a la obteción del título de Ingeniero Agrónomo). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

103. Schinella, G., Mosca, S., Cienfuegos, E., Pasamar, M. Á., Muguerza, B., Ramón, D., y Ríos, J. L. (2010). Antioxidant properties of polyphenol-rich cocoa products industrially processed. Food Research International, 43(6), 1614–1623. doi:10.1016/j.foodres.2010.04.032

104. SENPLADES. (2014). Resumen plan nacional del buen vivir. Quito, Ecuador. Recuperado de http://www.buenvivir.gob.ec/ (Octubre, 2014)

105. SINAGAP. (2014). Cacao_2000-2013. Quito, Ecuador: MAGAP. Recuperado de http://sinagap.agricultura.gob.ec/cacao-2/file/3520-serie-historica-2000-2012 (Octubre, 2014)

106. Slinkard, K., y Singleton, V. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Society for Enology and Viticulture, 28(1), 49–55.

107. Steverson, C., Corven, J., y Villanueva, G. (1993). Manual para analisis de cacao en laboratorio (1era. ed.). San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

108. Suazo, Y. (2012). Efecto de la fermentación y el tostado sobre la concentración polifenólica y actividad antioxidante de cacao nicaragüense. (Trabajo fin de Máster no publicado). Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España.

109. Sukha, D. a., Butler, D. R., Umaharan, P., y Boult, E. (2007). The use of an optimised organoleptic assessment protocol to describe and quantify different flavour attributes of cocoa liquors made from Ghana and Trinitario beans. European Food Research and Technology, 226(3), 405–413. doi:10.1007/s00217-006-0551-2

110. Taylor, A. (2002). Flavour Technology. Sheffield, Reino Unido: Sheffield Academic Press.

111. Torres-Moreno, M., Torrescasana, E., Salas-Salvadó, J., y Blanch, C. (2014). Nutritional composition and fatty acids profile in cocoa beans and chocolates with different geographical origin and processing conditions. Food Chemistry, 166, 125–32. doi:10.1016/j.foodchem.2014.05.141

112. Villavicencio, A. (2001). Caracterización química del nivel de fermentanción y estudio de los parámetros de calidad del cacao (Theobroma cacao L.) producido en el Ecuador. (Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en Química Especialización Química Analítica). Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

113. Wacher, M. (2011). Microorganismos y chocolate. Revista Digital Universitaria, 12(4), 1–9.

114. Weyant, M. J., Carothers, A. M., y Dannenberg, A. J. (2001). (+)-Catechin Inhibits Intestinal Tumor Formation and Suppresses Focal Adhesion Kinase Activation in the Min/+ Mouse. Cancer Research, 61(1), 118–125.

115. Wollgast, J., y Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in Theobroma cacao : changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identication and quantication. Food Research International, 33(6), 423–447. doi:10.1016/S0963-9969(00)00068-5

116. Wood, G. A. R. (1991). A history of early cocoa introductions. Cocoa Growers ' Bulletin, 44(13 – 17), 1991.

117. Yamagishi, M., Natsume, M., Osakabe, N., Nakamura, H., Furukawa, F., Imazawa, T., … Hirose, M. (2002). Effects of cacao liquor proanthocyanidins on PhIP-induced mutagenesis in vitro, and in vivo mammary and pancreatic tumorigenesis in female Sprague–Dawley rats. Cancer Letters, 185(2), 123–130. doi:10.1016/S0304-3835(02)00276-8

118. Yamagishi, M., Natsume, M., Osakabe, N., Okazaki, K., Furukawa, F., Imazawa, T., … Hirose, M. (2003). Chemoprevention of lung carcinogenesis by cacao liquor proanthocyanidins in a male rat multi-organ carcinogenesis model. Cancer Letters, 191(1), 49–57. doi:10.1016/S0304-3835(02)00629-8

119. Ziegleder, G. (2009). Flavour development in cocoa and chocolate. In Industrial chocolate manufacture and use (4ta. ed.). Oxford, Reino Unido: John Wiley y Sons Ltd.

ANEXOS

ANEXO I

CÁLCULOS PARA CUANTIFICAR LOS AZÚCARES

Se grafica en el eje de las x las concentraciones del estándar y en el eje de las y las áreas leídas por el equipo, respectivamente. Este procedimiento se realiza para la fructosa, glucosa y sacarosa. De este gráfico se obtiene la pendiente de la recta y el corte en y. Luego se calcula la concentración de la muestra con la fórmula AI.1 (AOAC, 2005).

$$Ca = \frac{(Ae - b) \times Vm \times 100}{m + Pm} \qquad [AI.1]$$

Donde:

Ca: Concentración de azúcares en la muestra (mg/100g)
Ae: Área del extracto de la muestra
b: Corte en y de los estándares
Vm: Volumen de aforo de la muestra (mL)
m: Pendiente de la recta de los estándares (mL/mg)
Pm: Peso de la muestra (g)

ANEXO II

CÁLCULOS PARA CUANTIFICAR LOS POLIFENOLES TOTALES

Se grafica en el eje de las x las concentraciones de los estándares de ácido gálico y en el eje de las y las absorbancias a 760 nm leídas por el espectrofotómetro, respectivamente. De este gráfico se obtiene la pendiente de la recta y el corte en y. Luego se calcula la concentración de polifenoles en la muestra con la fórmula AII.1 (Georgé, Brat, Alter, y Amiot, 2005; Slinkard y Singleton, 1977).

$$\text{Cp}= \frac{[(Abe-b)\times \text{Ve}\times \text{fde}]-[(Abe-b)\times \text{Vc}\times \text{fdc}]}{\text{m}\times \text{Pm}\times 1000} \qquad \text{[AII.1]}$$

Donde:

Cp: Concentración de polifenoles en la muestra (mgAG/g)
Abe: Absorbancia del tubo de ensayo con el extracto cetónico
b: Corte en y de los estándares
Ve: Volumen total del extracto cetónico (mL)
fde: factor de dilución del extracto cetónico
Abc: Absorbancia del tubo de ensayo con el extracto de vitamina C
Vc: Volumen total del extracto de vitamina C (mL)
fdc: factor de dilución del extracto de vitamina C
m: Pendiente de la recta de los estándares (mL/mg)
Pm: Peso de la muestra (g)

ANEXO III

MODELO MATEMÁTICO DEL DISEÑO FACTORIAL A × B

El modelo matemático del diseño factorial esta dado en la ecuación AIII.1 (Montgomery, 2004, p. 177).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad \text{[AIII.1]}$$

Donde:

Y_{ijk} : observaciones o datos
μ : promedio global
α_i : efecto del nivel i-ésimo del factor A
β_j : efecto del nivel j-ésimo del factor B
$(\alpha\beta)_{ij}$: efecto de la interacción entre α_i y β_j
ε_{ijk} : error aleatorio
i: niveles del factor A
j : niveles del factor B
k : número de repeticiones

En la pasta de cacao obtenida de cada tratamiento se analizaron las siguientes variables de salida: color, humedad, pH, acidez titulable, polifenoles, olor y sabor a chocolate, acidez, amargor y olor y sabor extraño.

ANEXO IV

FOTOGRAFÍAS DEL PROCESAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE CACAO

Semillas de cacao

Aplicación de la solución acuosa

Tostado de semillas

Enfriamiento de semillas tostadas

Figura AIV. 1. Fotografías de la aplicación del tratamiento con solución acuosa

Molienda de cotiledones tostados

Mezcla de pasta de cacao y azúcar

Moldeo de Chocolates

Chocolate desmoldado

Figura AIV. 2. Fotografías de la obtención de chocolates negros

ANEXO V

FORMATO DEL ANÁLISIS SENSORIAL DE CHOCOLATE NEGRO

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE QUIMICA Y AGROINDUSTRIA

DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA Y ALIMENTOS

EVALUACIÓN DE ANÁLISIS SENSORIAL

Producto: Chocolate Negro Fecha: .....

Nombre: ..... Hora: .....

Frente a usted hay 3 muestras de chocolate negro codificados. Usted deberá analizar los atributos descritos colocando una línea vertical con la codificación de la muestra sobre la escala. Se debe abrir solo la muestra a analizar, enjuagar su boca con agua y descansar 30 segundos entre muestra.

OLOR A CHOCOLATE _____
Débil Fuerte

OLOR EXTRAÑO _____
Débil Fuerte

SABOR A CHOCOLATE _____
Débil Fuerte

ACIDEZ _____
Débil Fuerte

AMARGOR _____
Débil Fuerte

SABOR EXTRAÑO _____
Débil Fuerte

Escriba en la línea punteada el número(s) de la muestra(s) que le recuerda un sabor a:

FRUTAS..... **FLORES**..... **NUEZ**.....

Observaciones:.....
.....

¡Gracias por su colaboración!

ANEXO VI

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS TRATAMIENTOS

Tabla VI. 1. Análisis de varianza de la coordenada de color L

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	14,6531	1	14,6531	25,10	0,0000
B:Tratamiento	9,21994	4	2,30499	3,95	0,0108
INTERACCIONES AB	6,19861	4	1,54965	2,65	0,0522
RESIDUOS	17,5121	30	0,583738		
TOTAL (CORREGIDO)	47,5838	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 2. Prueba de rangos múltiples LSD de la coordenada de color L para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
B	8	25,9862	0,270124	X
1	8	26,2225	0,270124	X
4	8	26,63	0,270124	XX
3	8	26,6775	0,270124	XX
2	8	27,3925	0,270124	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 3. Análisis de varianza de la coordenada de color a

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	33,6539	1	33,6539	1508,30	0,0000
B:Tratamiento	0,93186	4	0,232965	10,44	0,0000
INTERACCIONES AB	0,68386	4	0,170965	7,66	0,0002
RESIDUOS	0,669375	30	0,0223125		
TOTAL (CORREGIDO)	35,939	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 4. Prueba de rangos múltiples LSD de la coordenada de color a para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
B	8	12,5913	0,0528116	X
1	8	12,6288	0,0528116	X
4	8	12,8238	0,0528116	X
3	8	12,8313	0,0528116	X
2	8	13,0113	0,0528116	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 5. Análisis de varianza de la coordenada de color b

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	3,73932	1	3,73932	66,99	0,0000
B:Tratamiento	7,47364	4	1,86841	33,47	0,0000
INTERACCIONES AB	2,87699	4	0,719247	12,89	0,0000
RESIDUOS	1,67452	30	0,0558175		
TOTAL (CORREGIDO)	15,7645	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 6. Prueba de rangos múltiples LSD de la coordenada de color b para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	8	8,0825	0,0835296	X
1	8	8,26125	0,0835296	X
B	8	8,865	0,0835296	X
4	8	9,0	0,0835296	XX
3	8	9,195	0,0835296	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 7. Análisis de varianza de la humedad

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,556984	1	0,556984	5,64	0,0241
B:Tratamiento	0,352928	4	0,0882319	0,89	0,4799
INTERACCIONES AB	0,512297	4	0,128074	1,30	0,2935
RESIDUOS	2,96223	30	0,0987412		
TOTAL (CORREGIDO)	4,38444	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 8. Prueba de rangos múltiples LSD de la humedad para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	8	1,47396	0,111097	X
2	8	1,48866	0,111097	X
B	8	1,56296	0,111097	X
3	8	1,68755	0,111097	X
4	8	1,6926	0,111097	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 9. Análisis de varianza del pH

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	2,74576	1	2,74576	145,93	0,0000
B:Tratamiento	1,37887	4	0,344716	18,32	0,0000
INTERACCIONES AB	0,314965	4	0,0787412	4,19	0,0082
RESIDUOS	0,56445	30	0,018815		
TOTAL (CORREGIDO)	5,00404	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 10. Prueba de rangos múltiples LSD del pH para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	8	5,34625	0,0484961	X
2	8	5,37	0,0484961	X
B	8	5,435	0,0484961	X
3	8	5,73375	0,0484961	X
4	8	5,78	0,0484961	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 11. Análisis de varianza de la acidez titulable

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,012201	1	0,012201	38,95	0,0000
B:Tratamiento	0,00316593	4	0,000791483	2,53	0,0614
INTERACCIONES AB	0,00174282	4	0,000435705	1,39	0,2608
RESIDUOS	0,00939658	30	0,000313219		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0265064	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 12. Prueba de rangos múltiples LSD de la acidez titulable para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	8	0,125525	0,00625719	X
3	8	0,130013	0,00625719	XX
2	8	0,143475	0,00625719	XX
B	8	0,1454	0,00625719	X
1	8	0,147613	0,00625719	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 13. Análisis de varianza de los polifenoles

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	195,675	1	195,675	159,96	0,0000
B:Tratamiento	662,538	4	165,635	135,40	0,0000
INTERACCIONES AB	213,801	4	53,4502	43,69	0,0000
RESIDUOS	24,4657	20	1,22329		
TOTAL (CORREGIDO)	1096,48	29			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 14. Prueba de rangos múltiples LSD de los polifenoles para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
B	6	19,6649	0,451532	X
2	6	19,8294	0,451532	X
1	6	20,3193	0,451532	X
3	6	22,0006	0,451532	X
4	6	32,0186	0,451532	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 15. Análisis de varianza del olor a chocolate de la pasta de Lago Agrio

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	2,79844	4	0,699611	0,49	0,7447
B:Tratamiento	10,4501	9	1,16112	0,81	0,6100
RESIDUOS	65,9949	46	1,43467		
TOTAL (CORREGIDO)	79,45	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 16. Prueba de rangos múltiples LSD del olor a chocolate de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	12	7,13	0,372404	X
3	12	7,23667	0,372404	X
B	12	7,25333	0,372404	X
2	12	7,32333	0,372404	X
1	12	7,80667	0,372404	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 17. Análisis de varianza del olor extraño de la pasta de Lago Agrio

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	2,09044	4	0,522611	1,03	0,3997
B:Tratamiento	4,72294	9	0,524772	1,04	0,4248
RESIDUOS	23,2379	46	0,505171		
TOTAL (CORREGIDO)	31,2258	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 18. Prueba de rangos múltiples LSD del olor extraño de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	12	0,745	0,220982	X
1	12	0,978333	0,220982	X
B	12	1,00167	0,220982	X
4	12	1,28167	0,220982	X
3	12	1,285	0,220982	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 19. Análisis de varianza del sabor a chocolate de la pasta de Lago Agrio

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	3,972	4	0,993	1,11	0,3624
B:Tratamiento	12,7278	9	1,4142	1,58	0,1486
RESIDUOS	41,0797	46	0,893036		
TOTAL (CORREGIDO)	59,8325	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 20. Prueba de rangos múltiples LSD del sabor a chocolate de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	12	7,205	0,293814	X
2	12	7,365	0,293814	X
B	12	7,52167	0,293814	X
1	12	7,81167	0,293814	X
3	12	7,97167	0,293814	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 21. Análisis de varianza de la acidez de la pasta de Lago Agrio

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	1,72311	4	0,430778	0,61	0,6602
B:Tratamiento	6,06311	9	0,673679	0,95	0,4942
RESIDUOS	32,6936	46	0,710729		
TOTAL (CORREGIDO)	41,084	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 22. Prueba de rangos múltiples LSD de la acidez de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	12	1,10333	0,262114	X
2	12	1,23	0,262114	X
4	12	1,28667	0,262114	X
B	12	1,43667	0,262114	X
1	12	1,64333	0,262114	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 23. Análisis de varianza del amargor de la pasta de Lago Agrio

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	3,66222	4	0,915556	1,61	0,1867
B:Tratamiento	5,34472	9	0,593858	1,05	0,4187
RESIDUOS	26,0861	46	0,567089		
TOTAL (CORREGIDO)	33,1498	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 24. Prueba de rangos múltiples LSD del amargor de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	12	1,135	0,234134	X
2	12	1,42833	0,234134	XX
4	12	1,455	0,234134	XX
1	12	1,515	0,234134	XX
B	12	1,975	0,234134	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 25. Análisis de varianza del sabor extraño de la pasta de Lago Agrio

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	1,67178	4	0,417944	0,93	0,4557
B:Tratamiento	2,39094	9	0,26566	0,59	0,7982
RESIDUOS	20,7032	46	0,45007		
TOTAL (CORREGIDO)	25,7885	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 26. Prueba de rangos múltiples LSD del sabor extraño de la pasta de Lago Agrio para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	12	0,658333	0,208583	X
3	12	0,865	0,208583	X
1	12	0,921667	0,208583	X
4	12	1,10833	0,208583	X
B	12	1,17167	0,208583	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 27. Análisis de varianza del olor a chocolate de la pasta de Santo Domingo

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	9,85044	4	2,46261	1,71	0,1643
B:Tratamiento	14,4954	9	1,6106	1,12	0,3700
RESIDUOS	66,3029	46	1,44137		
TOTAL (CORREGIDO)	89,586	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 28. Prueba de rangos múltiples LSD del olor a chocolate de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
B	12	6,76667	0,373272	X
1	12	7,14333	0,373272	XX
3	12	7,7	0,373272	XX
2	12	7,79667	0,373272	XX
4	12	7,94333	0,373272	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 29. Análisis de varianza del olor extraño de la pasta de Santo Domingo

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	3,21578	4	0,803944	1,27	0,2964
B:Tratamiento	8,88744	9	0,987494	1,56	0,1570
RESIDUOS	29,1742	46	0,634222		
TOTAL (CORREGIDO)	42,6193	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 30. Prueba de rangos múltiples LSD del olor extraño de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	12	0,806667	0,247605	X
3	12	0,876667	0,247605	X
2	12	1,14	0,247605	X
B	12	1,17	0,247605	X
1	12	1,52333	0,247605	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 31. Análisis de varianza del sabor a chocolate de la pasta de Santo Domingo

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	1,52889	4	0,382222	0,27	0,8928
B:Tratamiento	15,2556	9	1,69506	1,22	0,3073
RESIDUOS	63,9944	46	1,39118		
TOTAL (CORREGIDO)	80,7093	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 32. Prueba de rangos múltiples LSD del sabor a chocolate de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	12	7,53667	0,366717	X
4	12	7,71667	0,366717	X
3	12	7,78	0,366717	X
B	12	7,82333	0,366717	X
1	12	8,07667	0,366717	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 33. Análisis de varianza de la acidez de la pasta de Santo Domingo

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	1,10711	4	0,276778	0,40	0,8055
B:Tratamiento	8,63294	9	0,959216	1,40	0,2176
RESIDUOS	31,5946	46	0,686838		
TOTAL (CORREGIDO)	41,2698	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 34. Prueba de rangos múltiples LSD de la acidez de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	12	1,005	0,257671	X
1	12	1,03167	0,257671	X
4	12	1,165	0,257671	X
B	12	1,22167	0,257671	X
3	12	1,41833	0,257671	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 35. Análisis de varianza del amargor de la pasta de Santo Domingo

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	5,01911	4	1,25478	2,30	0,0732
B:Tratamiento	6,89244	9	0,765827	1,40	0,2152
RESIDUOS	25,1242	46	0,546179		
TOTAL (CORREGIDO)	35,0573	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 36. Prueba de rangos múltiples LSD del amargor de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
B	12	1,23	0,229777	X
1	12	1,28	0,229777	X
2	12	1,29667	0,229777	X
3	12	1,58333	0,229777	XX
4	12	2,07667	0,229777	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tabla VI. 37. Análisis de varianza del sabor extraño de la pasta de Santo Domingo

EFECTOS	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,306	4	0,0765	0,13	0,9693
B:Tratamiento	11,2102	9	1,24557	2,17	0,0418
RESIDUOS	26,3757	46	0,573384		
TOTAL (CORREGIDO)	39,1618	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla VI. 38. Prueba de rangos múltiples LSD del sabor extraño de la pasta de Santo Domingo para el factor tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	12	0,871667	0,23543	X
2	12	0,901667	0,23543	X
4	12	0,941667	0,23543	X
B	12	1,00167	0,23543	X
1	12	1,09167	0,23543	X

Método: 95,0 porcentaje LSD

ANEXO VII

INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO

1. ANTECEDENTES.-

El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas suscribe el contrato Nº DIC/NSAPVD/2012/309-089 con la Unión Europea, el 19 de diciembre del 2012, para la ejecución del convenio FORTALECIMIENTO DE LA CADENA AGROPRODUCTIVA DEL CACAO, EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS" mismo que tiene como objetivo Impulsar el desarrollo sostenible de la cadena agro productiva de cacao beneficiando a ochocientos nueve productores miembros de la mesa de Concertación Provincial de Cacao de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Como una de sus actividades principales es dotar de una infraestructura optima que permita realizar un proceso de trazabilidad que garantice la calidad en el producto ofertado.

El GAD Provincial De Santo Domingo de los Tsáchilas cuenta con un pedio que se encuentra ubicado en el km 15 de la vía Quevedo margen izquierdo con un área aproximada de 01 hectárea.

Para que el Centro de acopio de cacao para la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas pueda cumplir con sus importantes funciones es necesario dotar de una edificación adecuada a la realidad actual y a las perspectivas futuras para su crecimiento, tanto a nivel de requerimientos físicos – espaciales y tecnológicos a la vez que aporte al desarrollo de nuestra Provincia.

Hectáreas de Cultivo Cacao ccn-51		
	Valor	**%**
Monocultivo	1222	77
Asociado	269	17
Proyecto	86	5
Total	**1577**	**100**

Hectáreas de Cultivo Cacao Nacional		
	Valor	**%**
Monocultivo	916	64
Asociado	384	27
En proyecto	140	10
Total	**1440**	**100**

ANEXO VIII

BALANCE DE MASA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO

Se determinó la materia prima que se procesará en el área de producción mediante la suma de las hectáreas sembradas de cacao que pertenecen a las asociaciones del proyecto, después este valor se lo multiplicó por el rendimiento de toneladas de cacao seco fermentado obtenido por cada hectárea anualmente según el SINAGAP (2014).

Tabla AVIII. 1. Héctareas sembradas de cacao para el proyecto de Santo Domingo

Tipo de cacao	Hectáreas sembradas
Nacional	1 440
CCN51	1 577
TOTAL	3 017

El rendimiento de la zona es de 21,88 %, por consiguiente anualmente se producen 660,16 toneladas de cacao seco fermentado. A continuación se presenta las consideraciones para el dimensionamiento de los equipos.

Tabla AVIII. 2. Considerasiones de tiempo y dimensionamiento para el diseño del área de producción de pasta de cacao.

Consideraciones	Tiempo
Semanas de trabajo anuales	52
Semanas de limpieza de equipos anuales	4
Semanas efectivas de trabajo anuales	48
Horas de trabajo anuales	1 920
Factor de sobredimensionamiento	1.25

Se definió que los rendimientos calculados durante el procesamiento de las semillas de cacao, es el que se empleará para el diseño.

Tabla AVIII. 3. Rendimiento de las operaciones unitarias estimadas para el área de producción de pasta de cacao

Proceso	Rendimiento
Limpieza	95,23 %
Tostado	93,84 %
Descascarillado	88,85 %
Triturado	99,32 %
Molienda	97,25 %

Se calculó la cantidad de cacao que se puede procesar a diario en cada operación unitaria considerando un incremento de la materia prima del 25 %, por la estacionalidad de la producción.

cacao seco fermentado = hectáreas sembradas × rendimiento

cacao seco fermentado = 429,79 kg/h

cacao limpio = cacao seco fermentado × rendimiento

cacao limpio = 409,29 kg/h

cacao tostado = cacao tostado × rendimiento

cacao tostado = 384,08 kg/h

cacao descascarillado = cacao tostado × rendimiento

cacao descascarillado = 341,25 kg/h

cacao molido = cacao descascarillado × rendimiento

cacao molido = 338,93 kg/h

pasta de cacao = cacao molido × rendimiento

pasta de cacao = 329,61 kg/h

ANEXO IX

HOJAS DE ESPECIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTA DE CACAO

Hoja de especificación N°1

BOMBA

Fabricante: ARBROS **N° requerido:** 1

Función: Trasportar la pasta de cacao desde el molino hasta la empacadora por una tubería de 5 cm de diámetro.

Operación: Continua

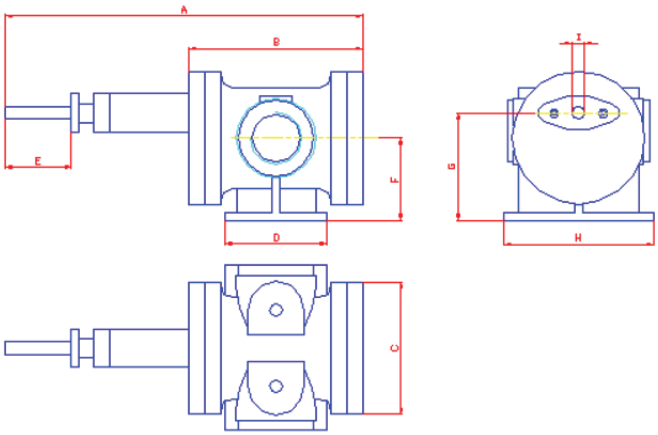
Datos del Diseño:

- Dimensiones: Largo 270, Ancho 420 mm y Espesor 200 mm
- Capacidad: 400 kg/h
- Potencia del motor: 5,81 kW
- Factor de Sobredimensionamiento: 1,5

Material: Acero inoxidable

Principio de operación: La pasta de caco caliente ingresa a una tubería, pasa por una válvula manual y llega hasta la entrada de la bomba la cual mediante la rotación de engranajes moviliza al producto hasta la empacadora.

Esquema de equipo:



Hoja de especificación N°2

ELEVADOR DE CANGILONES

Fabricante: SILOS CÓRDOBA **N° requerido:** 3

Función: Transportar semillas de cacao secas, limpias, tostadas, descascarilladas y trituradas hasta tolvas que almacenas productos intermedios.

Operación: Continuo

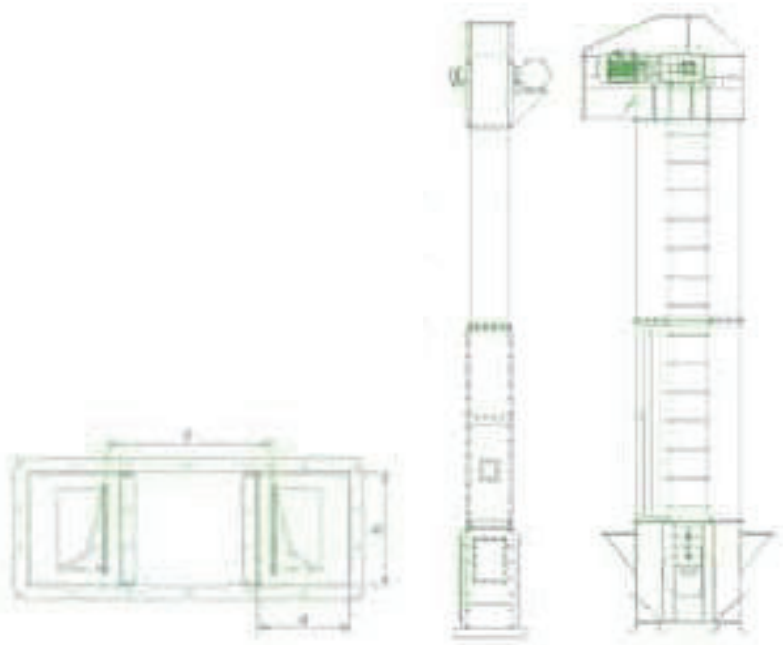
Datos del Diseño:

- Dimensiones:Largo 3 000 mm, Ancho 136 mm y Espesor 135 mm
- Capacidad: 2 000 kg/h
- Potencia del motor: 0,75 kW
- Factor de Sobredimensionamiento: 4,66

Material: PVC315/1

Principio de operación: El equipo posee una pequeña tolva de alimentación que le permite colectar los productos intermedios del proceso y transportarlos por medio de cangilones hasta la otra tolva que abastece el siguiente proceso.

Esquema de equipo:



Hoja de especificación N°3

LIMPIADORA

Fabricante: DIEDRICH **N° requerido:** 1

Función: Limpiar granos de cacao, de tal manera que separa partículas pesadas, como piedras, bolas de barro, los metales magnéticos y no magnéticos.

Operación: Continuo

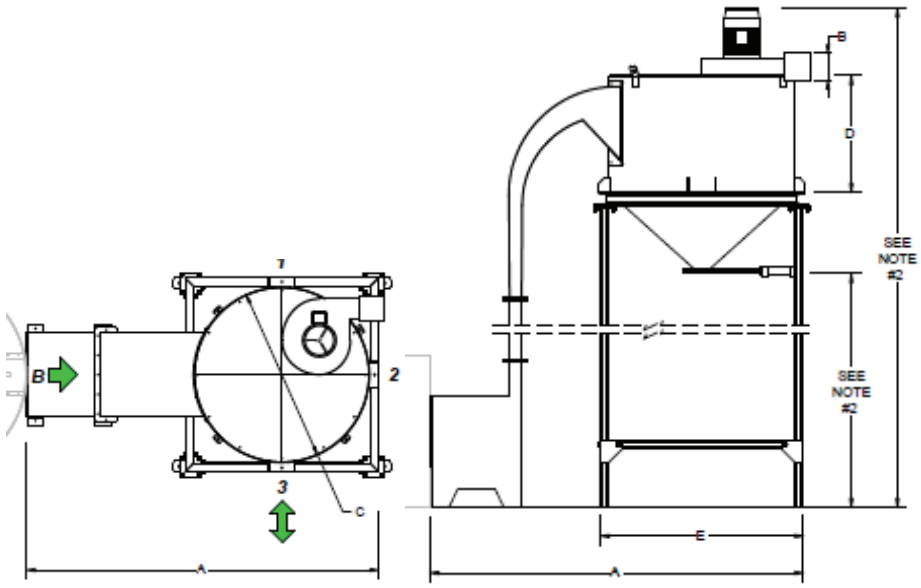
Datos del Diseño:

- Dimensiones:Largo 1 500 mm Ancho 2 687 mm y Espesor 1 727 mm
- Capacidad: 560 kg/h
- Potencia del motor:1,5 kW
- Factor de Sobredimensionamiento: 1,62

Material: Acero inoxidable

Principio de operación: Desde la tolva de alimentación caen las semillas de cacao secas pasan por un contraflujo de aire que retira partículas, luego llega a una criba donde se retiran impurezas de tamaño más grande finalmente a la salida un imán retiene los metales.

Esquema de equipo:



Hoja de especificación N°4

TOSTADORA

Fabricante: DIEDRICH **N° requerido:** 1

Función: Someter a los granos de cacao a alta temperatura, para tostarlos de esta manera conseguir el desarrollo de olor, sabor y color y la disminución de humedad.

Operación: Batch

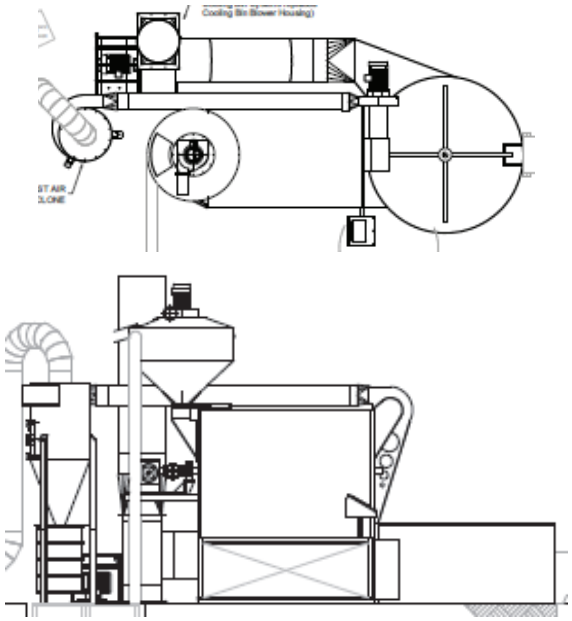
Datos del Diseño:

- Dimensiones: Largo 3 608 mm Ancho 6 705 mm y Espesor 3 200 mm
- Capacidad: 560 kg/h
- Potencia del motor:266 kW
- Factor de Sobredimensionamiento: 1,71

Material: Acero inoxidable

Principio de operación: Las semillas de cacao limpias se transportan hasta la cámara de tostado, donde el ingreso de aire caliente tuesta a las semillas. El equipo también cuenta con un área de enfriamiento, aquí las semillas pasan a través de un túnel de aire a temperatura ambiente.

Esquema de equipo:



Hoja de especificación N°5

DESCASCARILLADORA

Fabricante: STRECKEL y SCHRADER **N° requerido:** 1

Función: Retirar la cáscara de cacao a semillas tostadas, mediante la compresión de la semillas y la aspiración de cáscaras.

Operación: Continuo

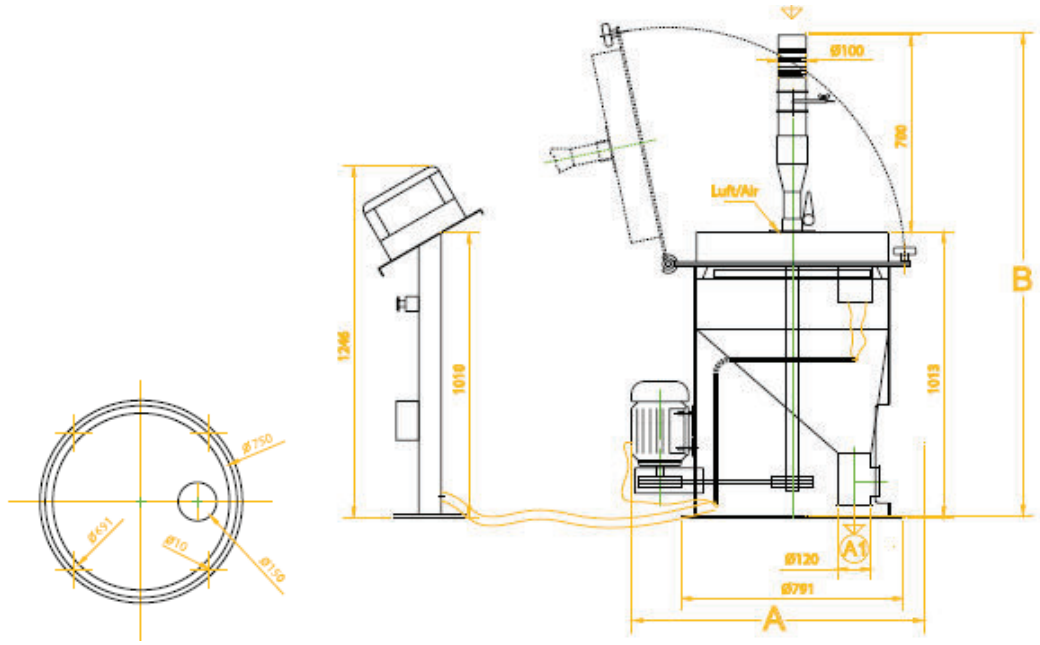
Datos del Diseño:

- Dimensiones: Largo 1 713 mm Ancho 1 042 mm y Espesor 791 mm
- Capacidad: 800 kg/h
- Potencia del motor:3kW
- Factor de Sobredimensionamiento: 2,60

Material: Acero inoxidable

Principio de operación: Las semillas de cacao tostadas se transportan hasta unos rodillos de goma donde son aplastadas, seguido pasan a la cámara de descascarillado, donde la acción de la ventilación separa la cascarilla de los cotiledones.

Esquema de equipo:



Hoja de especificación N°6

MOLINO

Fabricante: NETZSCH **N° requerido:** 1

Función: Disminuir el tamaño de partícula de los cotiledones tostados de cacao hasta llegar a un tamaño de partícula 50 µm.

Operación: Continuo

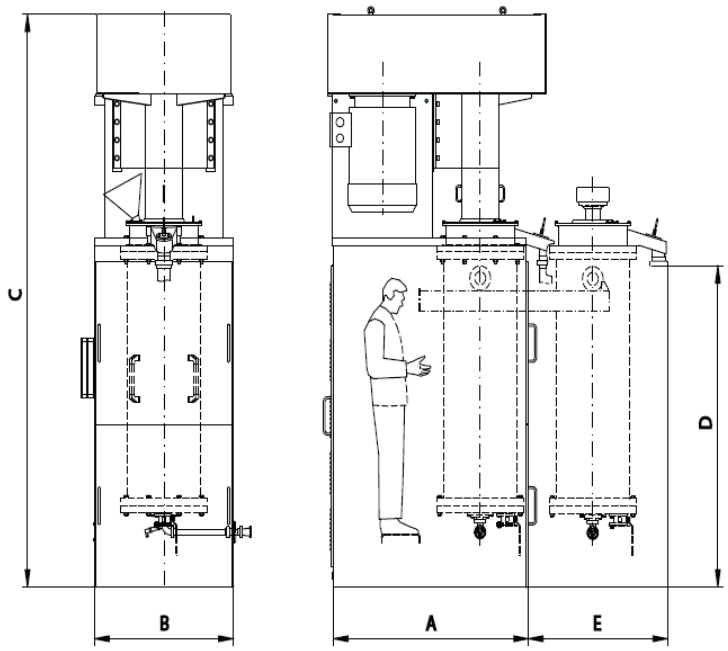
Datos del Diseño:

- Dimensiones: Largo 4 000 mm Ancho 2 800 mm y Espesor 1 200 mm
- Capacidad:366 kg/h
- Potencia del motor:90kW
- Factor de Sobredimensionamiento: 1,11

Material: Acero inoxidable

Principio de operación: Los cotiledones de cacao tostados se trasportan hasta una tolva de alimentación del equipo donde pasa por el primer molino de discos, luego pasa al segundo molino. Las dos cámaras de molienda tienen sistemas de calentamiento y agitación para movilizar el fluido viscoso que se va obteniendo.

Esquema de equipo:



Hoja de especificación N°7

EMPACADORA

Fabricante: TREPKO **N° requerido:** 1

Función: Embalar la pasta de cacao obtenida del proceso de molienda en cajas de cartón que contienen una bolsa de polietileno.

Operación: Semi-continuo

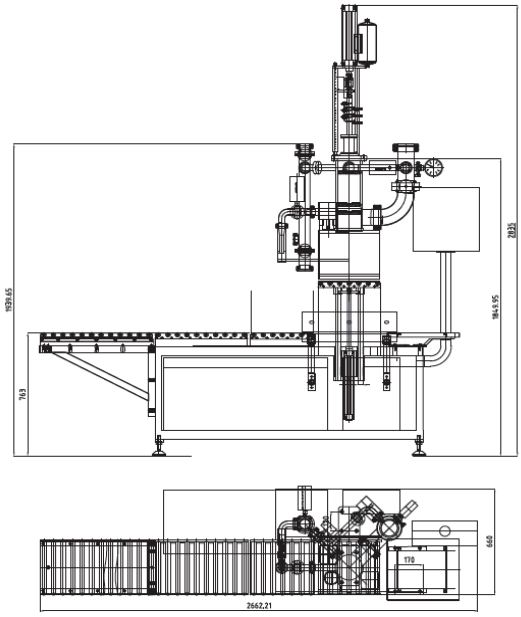
Datos del Diseño:

- Dimensiones: Largo 2 835 mm Ancho 2 662 mm y Espesor 700 mm
- Capacidad:1 500 kg/h
- Potencia del motor: 1,5kW
- Factor de Sobredimensionamiento: 5,70

Material: Acero inoxidable

Principio de operación: La pasta ingresa por el dosificador, una vez que la caja con funda de polietileno se coloca en el área de llenado, se dosifica la cantidad establecida de pasta de cacao, luego mediante los rodillos llega al área de verificación donde se retira o se coloca más producto dado por la unidad de retroalimentación. La retroalimentación también es usada para la limpieza del equipo.

Esquema de equipo:



ANEXO X

EXTRACTO DE LA COTIZACIÓN DE EQUIPOS

ITEM 3. ELEVADOR DE CANGILONES

- Capacidad de cargue 2.000 kilogramos por hora
- Construido en lámina cold rolled y perfil angular
- Consta de 40 cangilones plásticos
- Motoreductor de 2 HP con control eléctrico
- Dimensiones: 1.30 metros de longitud (incluido tolva de recibo de grano), 1.0 metros de ancho (incluida tolva de recibo de grano), altura 7.5 metros

VALOR UNITARIO.....USD 6.066

I.A. CARLOS ARTURO ARIAS ARANGO
carlosa602000@yahoo.es
0999 80 88 19 movistar / 0991 64 67 69 claro

ITEM 8. DESCASCARADORA DE CACAO DC 1.000

CARACTERISTICAS TECNICAS GENERALES

- Capacidad de 1.000 kilogramos por hora
- Alta seguridad de trabajo a través de una entrada regulada
- Deslizamiento lineal para mover los rodillos
- Gran suavidad de trabajo a causa de la separación de las cajas de descascarado y unidad de accionamiento
- Alta producción y alto grado de descascarado

El separador de cascarilla trabaja completamente en circuito cerrado de aire. Sistemas adicionales de aspiración no son necesarios.

- Construcción robusta de metal
- Nuevo concepto de cámaras de separación
- Ventilador especial trabajando en todo el ancho de la máquina

VALOR UNITARIO……..…..USD 19.247

VALOR TOTAL…..…..USD 19.247

ITEM 14. ELECTROBOMBA PARA TRANSPORTE DE LICOR DE CACAO

- Cuerpo de bomba en acero inoxidable AISI 304.
- Anillo intermedio en acero inoxidable AISI 304.
- Cierre mecánico en grafito/cerámica
- Temperatura del líquido bombeado: de -15° C a +50° C
- Presión máxima de funcionamiento: 6 bar

VALOR UNITARIO.....USD 7.541

VALOR TOTAL……..USD 7.541

CONDICIONES GENERALES DE VENTA:

1. PRECIOS NO INCLUYEN IVA
2. LA PRESENTE COTIZACION NO INCLUYE COSTOS DE OBRAS CIVILES, ELÉCTRICAS, HIDRÁULICAS O DE CUALQUIER OTRO TIPO, NECESARIAS PARA INSTALAR Y PONER EN MARCHA LA PLANTA
3. INCLUYE COSTOS DE MANO DE OBRA PARA LA INSTALACIÓN (INGENIEROS DE FÁBRICA, SUPERVISORES Y AYUDANTES)
4. SE REQUIEREN 30 DÍAS PARA EL MONTAJE
5. PRECIOS INCLUYEN EL TRANSPORTE HASTA EL SITIO FINAL DE LA INSTALACIÓN
6. EL FABRICANTE ENTREGA LA PLANTA INSTALADA Y FUNCIONANDO
7. SE REALIZA UNA VISITA POSTERIOR DE SEGUIMIENTO, SIN COSTO Y DE COMÚN ACUERDO CON EL CLIENTE
8. PÓLIZAS DE SEGURO A CARGO DEL COMPRADOR
9. PUERTO DE ENTREGA: SUCUMBIOS
10. PLAZO DE ENTREGA: 90 a 120 DÍAS