

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO PARA LA
ELABORACION DE UN PRODUCTO TRADICIONAL Y UN PRODUCTO
FUNCIONAL OBTENIDO A PARTIR DEL GRANO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*)
FERMENTADO Y NO FERMENTADO

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito
parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola

Manuel Enrique Umaña Calderón

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2013

DEDICATORIA

A mis papás y hermanos, por todo el apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A Don Wilfredo, por la guía y respaldo durante la elaboración del trabajo.

A Walter, por compartir sus conocimientos y la ayuda brindada desde el inicio del trabajo.

A Don Carlos y Don Alberto, por la guía durante la carrera y los aportes realizados a la elaboración del trabajo.

A Don Geovanni, por su motivación sobre siempre seguir hacia adelante y por su aporte como miembro del tribunal.

A Carlos y Giovanni de la empresa ION, por el préstamo de las instalaciones y el equipo.

A las compañeras del DAIR, por todo el apoyo.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola.

Elaborado por: Manuel Enrique Umaña Calderón

Aprobado por



Ing. Wilfredo Flores del Valle

Director del proyecto



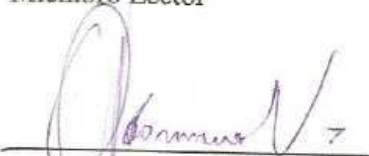
Ing. Carlos Benavides León

Miembro Lector



Ing. Alberto Miranda Chinchilla

Miembro Lector



Ing. Geovanni Carmona Villalobos

Miembro del Tribunal

RESUMEN

En la presente investigación se establece el anteproyecto de una planta de procesamiento para dos productos obtenidos a partir del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*). El primer producto es el utilizado para la industria del chocolate y se obtiene mediante los procesos tradicionales de fermentación y secado del cacao. El segundo producto, llamado cacao funcional por su alto contenido de polifenoles, es el obtenido mediante el proceso de secado del cacao en baba y es un producto que se puede consumir como una semilla seca como si fuera maní o macadamia.

De acuerdo con Arista y Malespín (2012), encargados de la Asociación de Productores de Cacao de Upala, la producción se ve afectada por la carencia de infraestructura y alternativas de procesamiento, por lo que la presentación del anteproyecto se justifica en la necesidad de llevar a cabo la obtención de los productos bajo condiciones controladas de proceso.

Se establecieron las principales características de dos grupos organizados de productores, las características de sus plantaciones y las condiciones del beneficiado tradicional del cacao. La capacidad de planta se determina a partir de un análisis de rendimiento productivo de las plantaciones y los rendimientos de los procesos de fermentación y secado del cacao. Se determinan las características de la obtención del producto tradicional y funcional en las instalaciones del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UCR. Se analizó la eficiencia del proceso de secado de un equipo presente en la empresa ION en Upala. El anteproyecto de la planta se establece a partir de características para plantas de procesamiento de productos hortofrutícolas recopiladas por Navarro (2011).

Como principales resultados de la investigación, se destaca que el rendimiento de la obtención del cacao en baba de la mazorca es de un 23%. Los rendimientos de la obtención del producto tradicional y funcional son 34% y 43% respectivamente. Con respecto a la elaboración del anteproyecto, se determina que este debe tener un área de 1286 m², donde 460m² corresponden a las zonas de proceso de la planta. Se establece que este proyecto es importante para la futura toma de decisiones en cuanto a las necesidades de procesamiento del cacao de Upala en unidades agroindustriales con procesos controlados.

INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Miembros del Tribunal Evaluador.....	iii
Resumen.....	iv
Índice de contenidos.....	v
Índice de cuadros.....	ix
Índice de figuras.....	xi
1. JUSTIFICACIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1 Generalidades del cacao.....	4
3.1.1 Producción mundial de cacao.....	4
3.1.2 Descripción botánica.....	5
3.1.3 Requerimientos agroecológicos.....	6
3.1.4 Variedades.....	6
3.1.5 Valor nutracéutico del cacao.....	7
3.1.6 Cacao tradicional y cacao funcional.....	9
3.1.7 Usos del cacao.....	10
3.2 Situación del cacao en Costa Rica.....	11

3.2.1 Características de la producción nacional.....	11
3.2.2 Rendimientos de producción.....	12
3.2.3 Mercado y comercialización.....	13
3.3 Beneficiado del cacao.....	14
3.3.1 Cosecha, quebrado y desgrane.....	15
3.3.2 Fermentación.....	15
3.3.3 Secado.....	19
3.4 Características agroecológicas del cantón de Upala.....	21
4. MATERIALES Y METODOS.....	24
4.1 Ubicación del proyecto.....	24
4.2 Condiciones de manejo del cacao en Upala.....	24
4.3 Establecimiento de la capacidad productiva de la planta.....	25
4.4 Pruebas preliminares.....	26
4.4.1 Determinación de la composición porcentual de la mazorca.....	26
4.4.2 Obtención del producto tradicional.....	27
4.4.3 Obtención del producto funcional.....	28
4.4.4. Diagramas de flujo de los procesos.....	28
4.5 Evaluación final de los procesos de fermentación y secado.....	28
4.5.1 Proceso de fermentación.....	28
4.5.2 Proceso de secado.....	29
4.6 Anteproyecto de la planta de procesamiento.....	30
5. RESULTADOS.....	31

5.1 Características de la producción de cacao.....	31
5.1.1 Organización de los grupos productores de cacao.....	31
5.1.2 Características de las plantaciones.....	31
5.1.3 Beneficiado del cacao.....	32
5.1.4 Problemática del beneficiado de cacao en la zona.....	36
5.2 Establecimiento de la capacidad productiva de la planta.....	36
5.3 Pruebas preliminares del beneficio controlado del cacao.....	39
5.3.1 Composición porcentual de la mazorca.....	39
5.3.2 Obtención del producto tradicional.....	42
5.3.3 Obtención del producto funcional.....	47
5.3.4 Diagramas de flujo de los procesos.....	51
5.4 Evaluación del proceso final del beneficio controlado del cacao.....	55
5.4.1 Evaluación del proceso de fermentación.....	55
5.4.1.1 Comportamiento de la temperatura de la masa de fermentación.....	55
5.4.1.2 Pérdida de peso del cacao durante la fermentación.....	60
5.4.2 Evaluación del proceso de secado.....	61
5.4.2.1 Descripción del equipo de secado.....	61
5.4.2.2 Eficiencia del proceso de secado.....	64
5.4.3 Rendimiento final del beneficiado del cacao.....	68
5.5. Anteproyecto de la planta de procesamiento.....	70
5.5.1 Características del terreno para la ubicación de la planta de procesamiento..	70

5.5.2 Anteproyecto de la planta de procesamiento.....	72
5.5.2.1 Ingreso de personal a la planta de proceso.....	72
5.5.2.2 Área de proceso sucio y manejo de materias primas.....	74
5.5.2.3 Área de proceso limpio.....	75
5.5.2.4 Cubierta de techos y sistema de captación de agua de lluvia.....	80
5.5.2.5 Drenaje de pisos y evacuación de aguas grises.....	81
5.5.2.6 Paredes de la planta.....	83
5.5.2.7 Patio de maniobras.....	83
5.5.2.8 Distribución del sitio.....	87
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
6.1 Conclusiones.....	93
6.2 Recomendaciones.....	95
7. BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS.....	103

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Producción mundial de cacao.....	5
Cuadro 3.2 Contenido de bioelementos presentes en 100 gramos de semillas de cacao.....	8
Cuadro 3.3 Estimación de hectárea cultivadas con cacao.....	13
Cuadro 3.4 Principales aspectos climáticos en la estación Upala (1975-2008)....	23
Cuadro 5.1 Características de los módulos para las etapas de poscosecha de cacao.....	33
Cuadro 5.2 Volumen de producción estimado a partir de 200 hectáreas de cultivo.....	37
Cuadro 5.3 Volumen de producción estimado a partir de 320 hectáreas de cultivo.....	38
Cuadro 5.4 Resumen de datos de la estimación de la producción de cacao en baba.....	39
Cuadro 5.5 Resultados de peso de las mazorcas, del cacao en baba y de las placentas	40
Cuadro 5.6 Valores promedio y porcentajes asociados a los pesos de mazorcas, cacao en baba y placentas.....	40
Cuadro 5.7 Pérdida de peso asociado al proceso de fermentación.....	43
Cuadro 5.8 Pérdida de peso del producto tradicional en el proceso de secado...	46
Cuadro 5.9 Porcentajes de peso del cacao en baba, el cacao fermentado y el cacao seco.....	47
Cuadro 5.10 Rendimiento de secado del producto funcional.....	51
Cuadro 5.11 Comportamiento de la temperatura en la masa de cacao durante el proceso de fermentación.....	55

Cuadro 5.12 Pérdida de peso en la masa de cacao durante la primera prueba de fermentación.....	60
Cuadro 5.13 Pérdida de peso en la masa de cacao durante la segunda prueba de fermentación.....	60
Cuadro 5.14 Partes del secador de la empresa ION.....	62
Cuadro 5.16 Porcentajes de peso del cacao en baba, cacao fermentado y cacao seco.....	69
Cuadro 5.16 Áreas del sitio.....	87
Cuadro 5.17 Recomendaciones de diseño para la planta de procesamiento...	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Etapas del proceso para la obtención del chocolate y subproductos...	11
Figura 3.2 Fermentador de gaveta Rohan.....	17
Figura 3.3 Sistema horizontal de cajas.....	18
Figura 3.4 Sistema de cajas en escalera con 3 desniveles.....	18
Figura 3.5 Diagrama psicrométrico.....	20
Figura 3.6 Ubicación de Upala en la provincia de Alajuela.....	21
Figura 3.7 Distritos del cantón de Upala.....	22
Figura 4.1 Ubicación de puntos de toma de datos de temperatura.....	27
Figura 5.1 Cultivos de papaya y plátano en asocio con cacao.....	32
Figura 5.2 Obtención de la baba de cacao y manejo de las mazorcas en la finca de Nicolás Veliz.....	32
Figura 5.3 Cajones de fermentación.....	33
Figura 5.4 Plataformas de secado solar.....	34
Figura 5.5 Secador de techo corredizo en las Delicias de Upala.....	34
Figura 5.6 Fermentadores y secadores del grupo de productores de la familia Veliz en San José de Upala.....	35
Figura 5.7 Plataformas de secado localizadas en Canaleta y en el Progreso de Upala.....	35
Figura 5.8 Condiciones del terreno bajo condiciones lluviosas.....	36
Figura 5.9 Composición de la mazorca del cacao.....	41
Figura 5.10 Limpieza de las mazorcas de cacao.....	41
Figura 5.11 Extracción de la baba de cacao.....	41

Figura 5.12 Separación de la placenta del cacao.....	42
Figura 5.13 Comportamiento de la temperatura durante los procesos de fermentación.....	43
Figura 5.14 Aspecto del cacao al inicio y al final de la fermentación.....	44
Figura 5.15 Comportamiento de la pérdida porcentual de peso para la obtención del producto tradicional a una temperatura de 45°C.....	44
Figura 5.16 Comportamiento de la pérdida porcentual de peso para la obtención del producto tradicional a una temperatura de 55°C.....	45
Figura 5.17 Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de secado para el producto tradicional.....	46
Figura 5.18 Aspecto del cacao al inicio y al final del proceso de secado.....	47
Figura 5.19 Comportamiento de la pérdida porcentual de peso para la obtención del producto funcional durante la primera prueba.....	48
Figura 5.20 Comportamiento de la pérdida porcentual de peso para la obtención del producto funcional durante la segunda prueba.....	48
Figura 5.21 Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de secado para el producto funcional.....	49
Figura 5.22 Rendimientos y desviaciones estándar asociadas al proceso de secado del producto funcional durante la primera prueba.....	50
Figura 5.23 Rendimientos y desviaciones estándar asociadas al proceso de secado del producto funcional durante la segunda prueba.....	50
Figura 5.24 Aspecto inicial y final del producto funcional.....	51
Figura 5.25 Diagrama de flujo de proceso para la obtención del producto tradicional y del producto funcional.....	54
Figura 5.26 Comportamiento promedio de la temperatura de la masa de fermentación durante la primera prueba.....	57
Figura 5.27 Comportamiento promedio de la temperatura de la masa de fermentación durante la segunda prueba.....	57

Figura 5.28 Masa de cacao en el día 0.....	58
Figura 5.29 Drenaje de jugos en el cajón de fermentación.....	58
Figura 5.30 Masa de cacao transcurrido el primer día de fermentación.....	59
Figura 5.31 Masa de cacao fermentado.....	59
Figura 5.32 Pérdida de peso de la masa de cacao y desviación estándar.....	61
Figura 5.33 Diagrama del secador de la empresa.....	61
Figura 5.34 Entrada e impulsión del aire ambiente.....	62
Figura 5.35 Ventilador, resistencias y botonera.....	63
Figura 5.36 Distribución del flujo de aire dentro del túnel de secado.....	63
Figura 5.37 Ducto de recirculación de aire.....	64
Figura 5.38 Condiciones de temperatura del aire registradas durante las pruebas de secado	65
Figura 5.39 Humedad relativa del aire ambiente durante el proceso de secado....	65
Figura 5.40 Diagrama psicrométrico de las condiciones promedio de secado.....	66
Figura 5.41 Eficiencia instantánea del proceso de secado.....	67
Figura 5.42 Comportamiento del contenido de humedad.....	68
Figura 5.43 Porcentaje de peso asociado al cacao en baba, el cacao fermentado y el cacao seco.....	68
Figura 5.44 Rendimiento final del proceso de cacao.....	69
Figura 5.45 Localización de la planta de procesamiento.....	70
Figura 5.46 Vías de acceso al terreno.....	72
Figura 5.47 Características del terreno.....	72
Figura 5.48 Identificación de las dos principales áreas de proceso y detalle de ingreso a la planta.....	73

Figura 5.49 Distribución de equipos en la zona de proceso sucio.....	76
Figura 5.50 Perfiles del sistema de fermentación y recolección de lixiviados.....	77
Figura 5.51 Distribución de equipos en el área de proceso limpio.....	79
Figura 5.52 Detalles de cubierta del techo y distribución del sistema de recolección de aguas pluviales.....	82
Figura 5.53 Ubicación de drenajes de aguas grises de la planta.....	84
Figura 5.54 Descripción de detalles de paredes.....	85
Figura 5.55 Patio de maniobras de la planta.....	86
Figura 5.56 Distribución final del la planta de proceso.....	88

I. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con cifras de La División de Estadística de la FAO (FAOSTAT) (2013), para el año 2011 la producción de cacao seco de los países centroamericanos de Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Costa Rica, se establecieron en 11 000, 2 000, 1 700, 760 y 690 toneladas respectivamente.

A pesar de ubicarse entre los países de menor producción, de acuerdo con la Cámara de Cacao Fino de Costa Rica (Canacao), la importancia de Costa Rica como país productor cacaotero radica en el hecho que la mayoría de su producción es orgánica.

A finales de la década de los 70 Costa Rica llegó a contar con aproximadamente 20 000 hectáreas de cultivo, de las cuales se exportaban hasta 11 000 toneladas de producto seco (Hernández, 2012; Barquero, 2013; IDA, 2011). La problemática se presentó cuando la aparición de la enfermedad conocida como monilia (*Moniliophthora roreri*) llegó a afectar gravemente las plantaciones, provocando una pérdida de interés de los productores por la baja producción del cultivo.

Actualmente la actividad cacaotera presenta un repunte en el que las plantaciones han aumentado de 4 400 a 4 600 hectáreas en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2012, para una producción total de 700 toneladas de cacao por año. (Barrantes y Foster, 2010; Barquero, 2013). De este total, las principales regiones productoras son la región Huetar Atlántica y la Región Huetar Norte, en donde el cantón de Upala, declarado como cantón cacaotero, se ha destacado a nivel internacional por la calidad del grano que se obtiene en sus plantaciones.

En el cantón de Upala, los pequeños productores se encuentran organizados en asociaciones con potencial de crecimiento (Barrantes y Foster, 2010), en donde se agrupan hasta 150 productores con más de 320 hectáreas de cultivo manejadas de forma convencional y orgánica.

De acuerdo con Arista y Malespín (2012) encargados de la Asociación de Productores de Cacao de Upala, señalan que la problemática presentada en la zona está determinada por factores como la carencia de infraestructura y alternativas de procesamiento, la oferta dispersa para comercializar el producto y la falta de organización entre los mismos productores.

La búsqueda del mejoramiento de las condiciones bajo las cuales se procesa y comercializa el grano del cacao pone en discordancia las actividades de proceso poscosecha tradicional (fermentación y secado solar) con las nuevas tendencias de procesamiento del cacao, las cuales contemplan que tanto los procesos de fermentación como de secado se deben realizar de manera controlada.

Por un lado, el productor de cacao se ve influenciado por los procesos tradicionales transmitidos a través de generaciones, pero mediante estos, las condiciones del manejo del beneficiado del cacao son poco homogéneas, lo que resultan en productos finales que no presentan características adecuadas para los sectores de la industria. Por otro lado, el procesamiento del cacao bajo condiciones controladas, busca mantener las características de calidad de la materia prima del cacao. Sin embargo, esto último representa mayores retos por el grado de industrialización en cuanto a infraestructura, equipos de proceso y requisitos con los que se debe cumplir para llevar a cabo las actividades de obtención de los productos.

Los aspectos citados ponen en evidencia la importancia de evaluar el beneficiado de cacao y analizar la posibilidad del establecimiento de unidades de producción agroindustrial que en conjunto con las labores de proceso tradicional puedan tener repercusiones positivas sobre la producción de cacao y las características socio-económicas del cantón de Upala.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar el anteproyecto de diseño de una planta de procesamiento para elaborar un producto funcional y un producto tradicional obtenido a partir del grano de cacao sin fermentar y fermentado.

Objetivos específicos

1. Presentar las características de organización y las actividades de beneficiado de cacao en el cantón de Upala realizadas por los integrantes de la Asociación de Pequeños Productores de Cacao de Upala y el grupo de productores de cacao de la familia Veliz.
2. Establecer un volumen de capacidad de planta a partir de un volumen de producción de cacao en baba del cantón de Upala.
3. Establecer las características de los procesos de elaboración del producto tradicional y funcional para generar los diagramas de flujo de proceso.
4. Realizar la evaluación psicrométrica de las condiciones de secado en un equipo existente para procesar los productos.
5. Establecer el anteproyecto de la planta de procesamiento para la toma de decisiones en el desarrollo posterior del proyecto.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1 Generalidades del cacao

3.1.1 Producción mundial de cacao

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una planta originaria de los trópicos húmedos de América del Sur. Su centro de origen parece estar situado en el noroeste de América del Sur, en la zona alta amazónica. (Enríquez, 2004)

A partir de su descubrimiento, el producto fue extendido por los españoles hacia el Caribe e introdujeron el consumo en Europa. En los siglos XVII y XVIII el cultivo se extendió a Filipinas y a las Indias Orientales y, en el siglo XIX llegó también a África occidental. Esta concentración de la producción en una franja que tiene como eje la línea ecuatorial se debe a las exigencias climatológicas y físicas del árbol de cacao. (Curtis, 1987)

Según el Organismo Internacional del Cacao (ICCO) (2011), la producción mundial durante el periodo 2009-2010 fue de 3 613 millones de toneladas, donde se destaca el continente africano como el mayor productor con 2 458 millones de toneladas, correspondiente al 68% del total. En segundo y tercer lugar se ubicaron respectivamente los países de Asia y Oceanía con una producción de 633 mil toneladas, correspondientes a un 17,5% del total y los países del continente americano con una producción de 522 mil toneladas correspondientes a un 14,4% (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Producción mundial de cacao
(miles de toneladas)

África	2 458
Costa de Marfil	1 242
Ghana	632
Nigeria	240
Camerún	190
Otros	154
Asia y Oceanía	633
Indonesia	535
Papúa Nueva Guinea	50
Otros	48
América	522
Brasil	161
Ecuador	160
Otros	201
Total mundial	3613

(Fuente: ICCO, 2011)

La producción de cacao en las zonas productoras de estos países representa la fuente de ingreso principal de entre 40 y 50 millones de personas. (Nadurille, 2010)

3.1.2 Descripción botánica

El cacao es una planta perteneciente a la familia Sterculiaceae. De acuerdo con la clasificación botánica, el cacao pertenece al género Theobroma, especie cacao. (UNCTAD, 2003)

El árbol de cacao crece entre cuatro y ocho metros de altura, pero si recibe sombra de árboles grandes puede alcanzar hasta diez metros de alto. Su fruto (mazorca) contiene entre treinta y cuarenta semillas de color marrón-rojizo en el exterior y están cubiertas de una pulpa blanca dulce y comestible. El embrión está formado por dos grandes cotiledones y las sustancias que se encuentran en éstos constituyen el producto comercial. En los tejidos

de parénquima de los cotiledones se encuentran los principios estimulantes, la teobromina y la cafeína, en porcentajes de 1 a 0,5% respectivamente. (UNCTAD, 2003)

3.1.3 Requerimientos agroecológicos

Las condiciones más propicias para el cultivo del cacao se encuentran confinadas a las áreas de los bosques húmedos tropicales, concentrándose su producción en una banda estrecha no mayor de 20° al norte y al sur de la línea ecuatorial. La temperatura debe mantenerse entre 21° C y 32° C y para tener una buena producción de cacao se requiere una precipitación anual entre 1.150 y 2.500 mm. Además, los vientos no deben ser fuertes ni constantes porque pueden romper ramas y dañar la planta. (UNCTAD, 2003).

3.1.4 Variedades

Según Enríquez (1985) las características más destacadas del fruto de la especie *Theobroma cacao L* presentes en América tropical son las siguientes:

- Cacao Criollo: corresponde a mazorcas casi cilíndricas, con diez surcos profundos simples o en cinco pares, cascara verrugosa, delgada o gruesa, puntas agudas en cinco ángulos, rectas o recurvadas. El color de la mazorca puede variar del verde al rojo. Tiene semillas blancas o ligeramente pigmentadas, cilíndricas u ovals.
- Cacao Forastero: se caracterizan por tener mazorcas ovoides o amelonada (con forma de melón), con diez surcos superficiales o profundos, cáscaras lisas o ligeramente verrugosas, delgadas o gruesas y los dos extremos redondos y a veces con un pequeño cuello de botella en la base. Por lo general son verdes, con tonos blanquecinos o rosados tenues en algunas poblaciones. Las semillas son moradas, triangulares en corte transversal, aplanadas y pequeñas.
- Cacao trinitario: estos constituyen poblaciones híbridas de cruzamientos espontáneos de criollos y forasteros los cuales tienen características de mazorcas y semillas casi similares o en la mayor parte intermedias entre los dos grupos que le dieron origen.

Desde el punto de vista comercial e industrial Rosero (2002) y el Centro de Comercio Internacional (UNCTAD) (1991) establecen que los granos de cacao se clasifican de dos maneras, el cacao ordinario y el cacao fino o de aroma los cuales tienen las siguientes características.

- Cacao ordinario: sus granos son los producidos por los cacaos tipo Forastero. Estos son utilizados en la fabricación de manteca de cacao y productos que tengan una elevada proporción de chocolate.
- Cacao fino o de aroma: corresponde a aquellos del tipo Criollo y Trinitario. Los granos de esta categoría dan características específicas de aroma o color en chocolates finos, coberturas, polvos o en ingredientes de alimentos y bebidas.

3.1.5 Valor nutracéutico del cacao

Kalvatchev, Garzaro y Guerra (1998), señalan que en el cacao el componente graso es el más importante de sus constituyentes. Según el Council of Scientific and Industrial Research (C.S.I.R), las semillas de cacao fueron reconocidas tempranamente por ser una rica fuente de bioelementos, dentro de los cuales se destacan los siguientes:

Cuadro 3.2. Contenido de bioelementos presentes en
100 gramos de semillas de cacao

Calorías	456	Nicotinamida	2,1 mg
Agua	3,6 ml	Ácido pantoténico	1,35 mg
Proteína	12,0 g	Histidina	0,04 - 0,08 g
Grasa	46,3 g	Arginina	0,03 - 0,08 g
Carbohidratos totales	34,7 g	Treonina	0,14 - 0,84 g
Fibra	8,6 g	Serina	0,88 - 1,99 g
Glucosa	8 - 13 g	Ácido glutámico	1,02 - 1,77 g
Sucrosa	0,4 - 0,9 g	Prolina	0,72 - 1,97 g
Calcio	106 mg	Glicina	0,09 - 0,35 g
Fósforo	537 mg	Alanina	1,04 - 3,61 g
Hierro	3,6 mg	Valina	0,57 - 2,60 g
Tiamina	0,17 - 0,24 mg	Lisina	0,08 - 0,56 g
Riboflavina	0,14 - 0,41 mg	Leucina	0,45 - 4,75 g
Niacina	1,7 mg	Isoleucina	0,56 - 1,68 g
Ácido ascórbico	3,0 mg	Tirosina	0,57 - 1,27 g
Piridoxina	0,9 mg	Fenilalanina	0,56 - 3,36 g

(Fuente: C.S.I.R, 1976)

Además de lo anterior, Kalvatech et al (1998), establece que los extractos del cacao son reconocidos como una rica fuente de polifenoles, flavonoides y alcaloides. Martínez (2005) comenta que numerosos estudios confirman la capacidad antioxidante de los polifenoles presentes en el cacao. Autores como Padilla *et al* (2008) y Pokorny *et al* (2001) destacan la importancia de que los antioxidantes naturales que contiene el cacao tienen una actividad antioxidante comparable a la de los antioxidantes sintéticos.

Según Afoakwa *et al* (2008), en la actualidad los beneficios de los polifenoles presentes en los productos derivados del cacao tienen una influencia significativa en la aceptabilidad por parte del consumidor.

En estudios realizados por Afoakwa *et al* (2012) se analizó el efecto de la fermentación en conjunto con el tiempo de almacenamiento de las mazorcas del cacao luego de cosechadas, sobre la reducción del contenido de polifenoles y antocianinas presentes en los granos. A pesar que se determinó que el tiempo de fermentación es más relevante, se obtuvo que bajo

condiciones de 7 días de almacenamiento de las mazorcas y 6 días de fermentación de los granos, tanto los polifenoles como las antocianinas presentaron una reducción de aproximadamente un 10%.

3.1.6 Cacao tradicional y cacao funcional

3.1.6.1 Cacao tradicional

Este producto es el obtenido mediante el proceso de fermentación y secado del grano de cacao y es utilizado para la industria del chocolate.

De acuerdo con el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2003), el cacao en grano debe estar bien fermentado (cascarilla de color marrón de fácil desprendimiento, almendra de color marrón o pardo rojizo y con cotiledones bien definidos, de forma arriñonada y con olor a chocolate), seco (contenido de humedad del 7%), exento de olores extraños, libre de infestación por insectos, libre de granos múltiples y almendras partidas.

3.1.6.2 Cacao funcional

De acuerdo con Flores (2013), los granos de cacao no fermentados son ricos en polifenoles (del 12% al 18% del peso en base seca del grano), los cuales luego del proceso de fermentación y secado sufren reacciones de oxidación y polimerización que provocan que el producto pierda su valor funcional.

Por esto, se plantea el concepto de cacao funcional como un producto basado en que las almendras de cacao son granos o semillas que se pueden consumir directamente como si fueran nueces como el maní, la macadamia o el marañón, previo un proceso tecnológico que le de las características crocantes a la almendra y que a su vez mantenga el mayor porcentaje de polifenoles presentes en el cacao. (Flores, 2013)

3.1.7 Usos del cacao

Inicialmente, el cacao se consumía solo en los países en los cuales se cultivaba, donde el cacao en grano se tostaba y se mezclaba con especias para elaborar bebidas. Luego de su introducción en España, donde era un producto de uso exclusivo, y con la invención de la prensa de cacao en 1828, se hizo posible la extracción de la manteca de cacao y con esta otra gran gama de productos. (Curtis, 1987)

Actualmente, el cacao es utilizado mayormente como materia prima para la industria del chocolate, y a menor escala, para la industria farmacéutica, alimenticia y de cosméticos. (Enríquez, 2006)

A partir del grano de cacao fermentado y seco se obtienen como productos intermedios el licor, la manteca, la torta y el polvo de cacao. Posterior a esto, se obtienen los productos finales, los cuales corresponden a chocolate para mesa, cobertura de chocolate, confites, bebidas y otros (Enríquez, 2006).

La figura 3.1 presenta las distintas etapas del proceso para la obtención del chocolate y sus subproductos:



Figura 3.1 Etapas del proceso para la obtención del chocolate y sus subproductos
(Fuente: Organismo Internacional del Cacao)

Por último, Jiménez (1993), menciona que desechos industriales como el jugo obtenido a partir de la pulpa del cacao es utilizado en países como Brasil para la elaboración de productos como jaleas, vinagre, aguardiente, jugo y néctar. De acuerdo con Anvoh *et al* (2009) estos productos no han sido producidos a gran escala debida a la falta de información detallada de las características químicas y físicas de cada uno de estos productos

3.2 Situación del cacao en Costa Rica

3.2.1 Características de la producción nacional

En cuanto a las estaciones de producción de cacao, Nadurille (2010), menciona que en Costa Rica se presentan dos estaciones: la primera, de julio a febrero la cual se caracteriza

por ser la más importante por su volumen de cosecha, y la segunda, correspondiente al periodo entre marzo y junio.

La producción de cacao se concentra en las provincias de Limón, Alajuela y Puntarenas, sumando aproximadamente 4 543 ha sembradas por unos 2 229 productores. Las regiones y cantones donde se desarrollan las plantaciones son la Huetar Atlántica (Talamanca, Limón, Matina, Siquirres, Guácimo y Pococí); Huetar Norte (Guatuso y Upala); Brunca (Corredores, Osa y Golfito) y Pacífico Central (Quepos y Parrita). (Jaén y Foster, 2010).

En la Región Huetar Atlántica, una gran parte de la producción es orgánica (certificada y no certificada), con productores organizados en asociaciones y cooperativas, algunas de ellas de gran importancia. En la Región Huetar Norte existen productores orgánicos agrupados en asociaciones, con fincas producción orgánica, convencional. La Región Brunca está compuesta por muchos pequeños productores dispersos, no agrupados en cooperativas ni asociaciones, de producción orgánica no certificada y convencional. (Jaén y Foster, 2010)

3.2.2 Rendimientos de producción

De acuerdo con datos preliminares de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA) (2011), para el año 2010 se registró en el país una producción de 665 toneladas de cacao.

Relacionado con los distintos grupos de productores que se encargan de la actividad cacaotera, Arias (2008) indica que aunque existen productores con amplias áreas de cultivo, la mayoría de la producción es llevada a cabo por pequeños y medianos agricultores cuyos cultivos no superan las dos hectáreas.

Según la Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica (Canacacao) (2012), el rendimiento nacional se estima en 356 kg/ha con mucha variabilidad entre las zonas productoras. La zona de Guápiles se encuentra representada por una finca altamente eficiente con un rendimiento de 900 kg/ha. En la región Huetar Norte el rendimiento ronda

los 300 kg/ha debido a la modernización de las plantaciones y mejores prácticas agrícolas. La Región Brunca presenta rendimientos marginales de 200 kg/ha y en Talamanca se presenta la productividad más baja dada la característica de subsistencia del cultivo en sistemas agroforestales con 100 kg/ha.

A nivel nacional, se presenta en el cuadro 3.3 la estimación de hectáreas cultivadas con cacao:

Cuadro 3.3 Estimación de hectáreas cultivadas con cacao

Región	Ubicación	Hectáreas de cultivo
Huetar Atlántica	Talamanca	2 740
	Limón - Matina - Batán	48
Huetar Norte	Bijagua - Guatuso	40
	Upala	470
Brunca	Zona Sur	132

(Fuente: León, 2007)

Sumado a lo anterior, León (2007) contabiliza como mayores productores a un productor en la finca FINMAC en Guácimo con 110 hectáreas y a dos productores con 30 hectáreas respectivamente en Guatuso y en Finca la Amistad en Bijagua

Con respecto a la distribución porcentual de estos terrenos dedicados al cultivo del cacao en el país, se destaca la Región Atlántica con un 81%, la Región Huetar Norte con un 16% y la Región Pacifico Central con un 4% (León, 2007).

3.2.3 Mercado y comercialización

Arias (2008) menciona que para Costa Rica y especialmente para asociaciones de pequeños productores el criterio de establecimiento de precios sobre el cacao se encuentra orientado hacia los segmentos de comercio justo y orgánico. Esta autora establece que la Fairtrade Labelling Organization (FLO) calcula los precios del cacao de Comercio Justo

sobre la base de la cotización de los precios del mercado mundial más una prima respectiva del Comercio Justo. Para el año 2012 la cotización para calidades estándar de cacao se situó en US\$2000 por tonelada más la prima de US\$200 por tonelada.

Con respecto a la exportación de productos elaborados a partir de cacao, León (2007), establece que de acuerdo a cifras de la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), en el año 2006 Costa Rica realizó un total de 55 exportaciones a diversos países del mundo, donde se destacaron Alemania, Japón, Panamá Holanda, Suiza y Estados Unidos. Entre estos productos se destacan en mayor cantidad los rellenos y el polvo de cacao, seguidos por licor de cacao y cacao en grano. Según esta autora tales exportaciones estuvieron a cargo de 28 empresas las cuales tuvieron una frecuencia de envío de producto de una o dos veces al año. Según datos de PROCOMER (2013), las exportaciones realizadas por el país en el año 2012 correspondieron a un valor de US\$ 1 700 000.

En el ámbito de las importaciones, estas provienen de más de 39 países donde se destacan en los primeros diez Estados Unidos, Brasil, Colombia, Perú, España, Guatemala, Italia, México, Argentina y Canadá. (León, 2007). Con respecto al valor de las principales importaciones de chocolates y preparaciones alimenticias que tienen cacao, este corresponde a US\$16 793. (SEPSA, 2011)

3.3 Beneficiado del cacao

Enríquez (1985) establece que se entiende por beneficiado del cacao al proceso por el cual las semillas, después de ser extraídas del fruto, son colocadas en depósitos especiales y en condiciones apropiadas para que las transformaciones microbiológicas mejoren su calidad, se facilite el secado, su conservación y se logre una mejor presentación del producto comercial.

La descripción de las etapas del beneficiado del cacao se presenta a continuación:

3.3.1 Cosecha, quebrado y desgrane

Generalmente la madurez de la mazorca se aprecia por su cambio de color, del verde pasa al amarillo y del rojo al anaranjado. No obstante, para ciertos frutos que tienen una pigmentación roja violeta muy marcada, este cambio de color puede no ser muy aparente y se corre el riesgo de no cosechar a tiempo las mazorcas que han alcanzado su plena madurez. Moreno (1989) menciona que la madurez también se puede advertir por un olor especialmente agradable o porque cuando se le dan golpes al costado de la mazorca se produce un sonido característico aparentando que hay algo suelto en su interior.

La cosecha debe ser efectuada a intervalos regulares que deberían ser en un término medio de 10 a 15 días y no deberían en ningún caso exceder de las tres semanas. (Enríquez, 1985). De acuerdo con el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (1957), se estima que un trabajador puede recolectar 350 mazorcas, equivalentes a 33 kg de cacao en baba por día.

El quebrado de las mazorcas se realiza con un mazo de madera o con el lomo de un machete y la extracción del cacao en baba se realiza manualmente (Moreno 1989).

3.3.2 Fermentación

Según señala Enríquez (2004), durante este proceso se limpian las semillas mediante la remoción del mucílago con alto contenido de azúcares que las recubre, se evita la germinación del embrión por muerte mediante la elevación de la temperatura y finalmente se da paso a las transformaciones de aroma y sabor para obtener un producto final de calidad.

Soto y Vargas (1989) establecen que la fermentación ocurre propiamente en los tres primeros días del proceso y de ella depende la actividad de organismos vivos, principalmente levaduras en una etapa alcohólica y bacterias acéticas en una etapa acética. De ahí en adelante procede la cura del grano que comprende una actividad enzimática en el cotiledón. De acuerdo con Cubero (1990), estas reacciones enzimáticas son las precursoras del característico sabor del cacao.

Puesto que la temperatura es un factor importante durante el proceso, Hernández (1991) establece que los valores máximos de entre 45 y 47°C se alcanzan transcurridas las 48 horas debido a la reacción exotérmica del azúcar de la pulpa a etanol y de este a ácido acético. Enríquez (2004) establece que luego de este periodo hay pequeños cambios de temperatura hasta completar la fermentación (de 6 a 8 días) y luego la temperatura cae rápidamente para adquirir el valor promedio ambiental. Hernández (1991) menciona que para alcanzar las temperaturas indicadas es necesario que la fermentación se lleve a cabo en lugares cerrados, con aireación controlada y sin corrientes de aire.

Por último, en consultas a cooperativas y productores de cacao, Alfaro (1998) establece que finalizado el proceso de fermentación el contenido de humedad del grano se ubica entre el 46% y 55% en base húmeda.

Con respecto a los métodos o sistemas para llevar a cabo la fermentación se debe tomar en cuenta la cantidad de cacao que se requiere tratar. Para realizar la transformación de pequeñas cantidades de cacao hacia un producto con características comerciales se puede utilizar desde pequeños envases de plástico o madera hasta la utilización de sacos. Sin embargo cuando las cantidades de cacao son significativamente mayores se debe recurrir a otro tipo de sistemas que aunque de carácter tradicional, permiten dar un manejo más controlado y sistemático a la masa de granos que se desea fermentar. Estos se describen a continuación:

Método Rohan

Rohan (1963) citado por Enríquez (2004) establece que este sistema consiste en una serie de gavetas con dimensiones de 120 x 80 x 10 cm las cuales tienen una capacidad para 70 kg de cacao húmedo. El fondo de estas gavetas debe tener reglillas de 5 cm de ancho distanciadas uniformemente para permitir tanto la aireación de la masa de grano como el drenaje de los jugos lixiviados durante el proceso de fermentación. Estas gavetas se apilan unas sobre otras pero cuando se cuenta con más de 6 se deben cambiar de posición todos los días. La figura 3.2 muestra este tipo de fermentador:

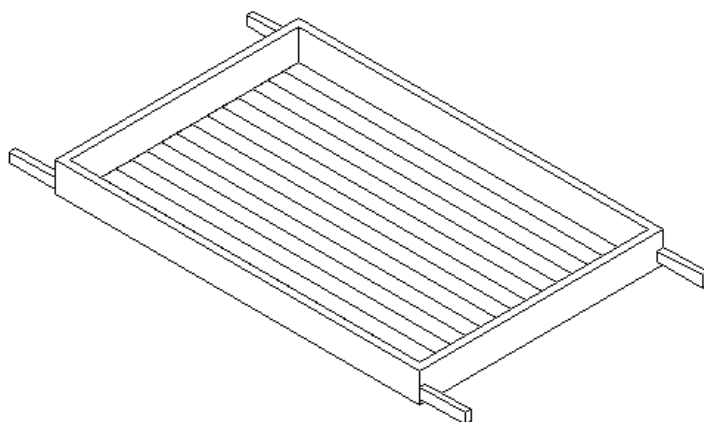


Figura 3.2 Fermentador de gaveta Rohan

Método de cajas

Este método consiste en fermentar el cacao en cajas de madera, preferiblemente de laurel, con dimensiones de 120 cm de ancho, 90 cm de altura y de largo variable pero basándose en el hecho de que un metro cúbico de volumen puede contener de 800 a 850 kg de almendras. (Enríquez, 2004)

Con respecto a este método de cajas se pueden presentar distintas variantes. La primera corresponde a un método horizontal en el cual se establecen las dimensiones de ancho y alto estándar y a lo largo se establecen diferentes secciones dependiendo del tiempo de fermentación requerido. La figura 3.3 hace referencia a este tipo de sistema:

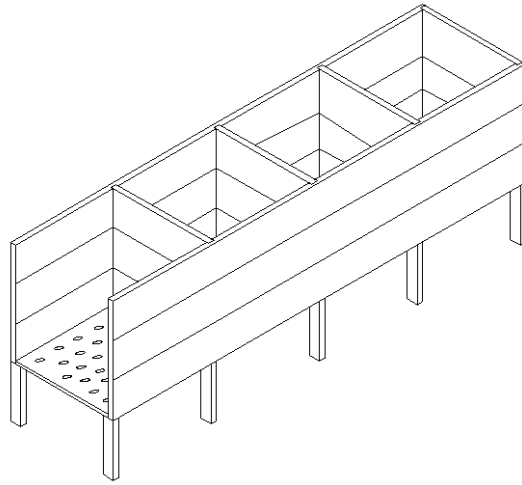


Figura 3.3 Sistema horizontal de cajas

Un segundo método consiste en colocar las cajas en forma de escalera con una cantidad de niveles dependiendo del tiempo de fermentación requerido para el cacao. Un ejemplo de este sistema se muestra en la figura 3.4:

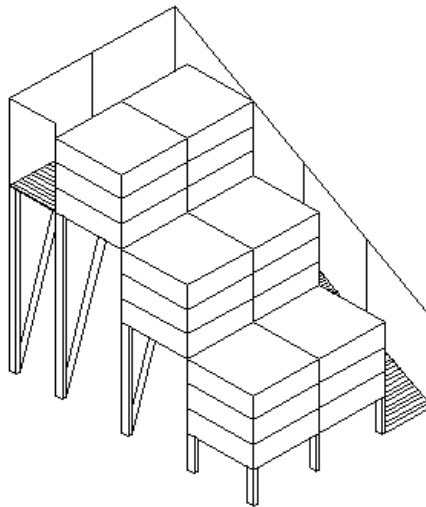


Figura 3.4 Sistema de cajas en escalera con 3 desniveles

Con respecto al manejo que se debe realizar en ambos sistemas de cajas Hernández (1991) señala que la remoción del grano debe realizarse únicamente una vez por día puesto que al moverlo más hay excesos de aire y hay escape de calor.

Por último, Hernández (1991) recomienda que la duración de la fermentación en cajas o gavetas Rohan sea de 4 a 5 días. Sin embargo, la misma autora establece que entre los productores de Río Frío no existe consenso en cuanto al sistema que debe ser utilizado y el tiempo de duración que debe poseer el proceso. De acuerdo a lo observado en Upala, la fermentación tradicional se realiza en un periodo de 6 a 7 días.

3.3.3 Secado

De acuerdo con Nielsen (2006), el secado consiste en llevar el contenido de humedad inicial de entre un 40 y 60% hasta un contenido de humedad del 6 y 7% con el objetivo de evitar el desarrollo de moho y mantener la calidad obtenida en el cacao. Los granos adecuadamente secados con un contenido de humedad en este rango, se caracterizan por tener una acidez reducida y un color café característico del chocolate (Fagunwa *et al*, 2009). Si la humedad se reduce demasiado la cáscara se vuelve excesivamente quebradiza pero si no se reduce lo suficiente existe el peligro de que se desarrollen mohos durante el almacenamiento del grano (Enríquez, 2004).

Usualmente el secado del cacao se realiza mediante métodos de secado solar o mediante métodos de secado con aire forzado. Según Hii et al (2008), la selección del método de secado depende de la escala de producción y la rentabilidad en términos de costo del proceso, donde el secado solar usualmente es el método más utilizado por su simplicidad y bajo costo. A pesar de las facilidades que se presentan con el secado solar, este se caracteriza por ser inconsistente por las condiciones climáticas de alta humedad relativa y precipitaciones características de las zonas productoras de cacao (Alfaro, 1998; Nduku, 2009; Nicholas, 2012).

La figura 3.5 muestra el diagrama psicrométrico de un proceso de secado. Mediante un ventilador se impulsa aire ambiente con las condiciones iniciales de temperatura, humedad absoluta y entalpia presentadas en (1) a través de un sistema de calentamiento, con el cual adquiere las condiciones presentadas en (2). Esta etapa inicial es un proceso de calentamiento sensible ($H_1=H_2$). El aire caliente que atraviesa la masa de grano adquiere condiciones presentadas en (3), como resultado de un proceso de secamiento adiabático

($h_2=h_3$) por la extracción de la humedad presente en el grano. Este proceso se muestra en la figura 3.5.

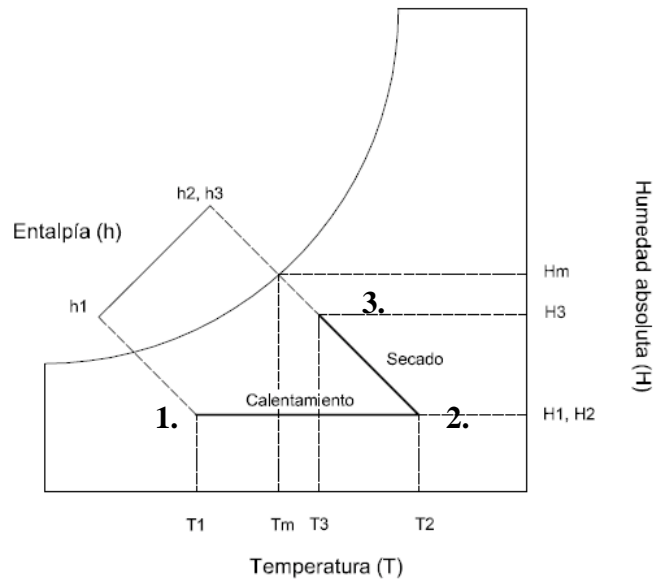


Figura 3.5 Diagrama psicrométrico

De acuerdo con Alfaro (1998), la condición de humedad absoluta máxima (H_m) presentada en la figura 3.5 permite determinar la eficiencia instantánea de secado la cual hace referencia a la relación entre la energía calórica utilizada para remover la humedad y la energía calórica disponible para remover la humedad. Esto mediante la ecuación (1.1):

Eficiencia instantánea de secado

$$E_{i.s}(\%) = \frac{\delta H}{\delta H_i} * 100 \quad (1.1)$$

Donde:

δH = Cambio de humedad absoluta del aire de secado (H_3-H_2). kg/kg de aire seco

δH_i = Máximo cambio posible de humedad absoluta (H_m-H_2) kg/kg de aire seco

Con respecto a la temperatura de secado se puede decir que este parámetro ha sido evaluado en amplios rangos como en estudios realizados por autores como Oke (2011), con temperaturas de entre los 35°C y 55°C; y como los realizados por Hii et al (2009), con temperaturas entre los 60°C y 80°C. Del rango de temperaturas evaluadas por Hii et al (2009), se determinó que la más conveniente fue la de 60°C, mediante la cual se obtuvo un producto con mejor sabor y con menor acidez. Oke (2011), estableció la temperatura de 45°C como óptima para realizar el secado.

Luego del secado el grano de cacao se empaqueta y se almacena. Para el empaque es posible utilizar sacos de nylon o sacos de polietileno 0,2 a 0,4 mm de espesor con los cuales es posible almacenar de manera segura el grano durante un periodo de hasta 12 meses, siempre y cuando este tenga un contenido de humedad adecuado. (Jiménez, 1991)

3.4 Características agroecológicas del cantón de Upala

El área de influencia del proyecto se localiza al norte de Costa Rica, en la provincia de Alajuela, cantón de Upala y distritos de Aguas Claras, Bijagua, Delicias, Dos Ríos, San José, Upala y Yolillal. Las figuras 3.6 y 3.7 muestran respectivamente la ubicación de la provincia de Alajuela y los distritos del cantón de Upala.



Figura 3.6 Ubicación de Upala en la provincia de Alajuela
(Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008)

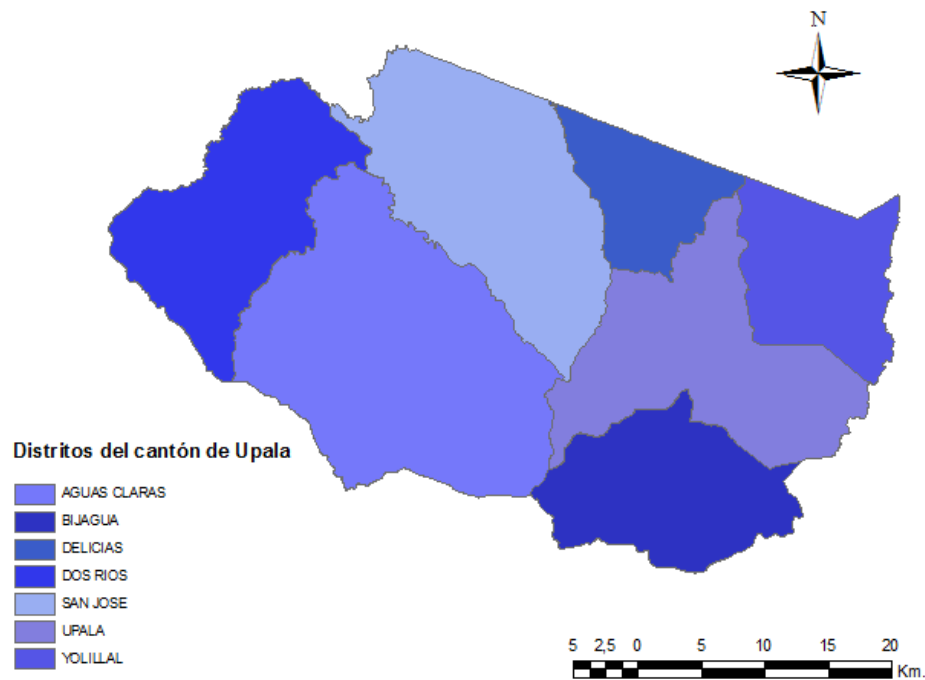


Figura 3.7 Distritos del cantón de Upala
(Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008)

Gómez, L.D. (1986) citado por el Instituto Meteorológico Nacional (1991), denomina la zona de las cercanías de Upala como “Bosque Tropical Lluvioso de Bajura” donde la vegetación se desarrolla sobre formas de sedimentación aluvial con una topografía de pendientes moderadas (5 a 30%). Los suelos corresponden al tipo Inceptisol los cuales tienen las características de ser derivados de materiales volcánicos, son oscuros, tienen una baja saturación de bases y son húmedos todo el año.

De acuerdo con datos de la estación Upala del Instituto Meteorológico Nacional (1991), localizada a 50 m.s.n.m en la latitud 10°54'04''N y la longitud 85°01'00''O. La región tiene un clima con influencia Caribeña pero presenta un periodo relativamente seco de tres meses (febrero, marzo y abril). Según Herrera, W. (1986) citado por el IMN (1991), el clima se clasifica como clima húmedo, muy caliente y con déficit pequeño de agua.

El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) (2008) presenta para un registro de 33 años los siguientes aspectos climáticos:

Cuadro 3.4 Principales aspectos climáticos en la estación Upala (1975-2008)

Aspecto	Valor
Precipitación mensual media anual	209,48 mm
Temperatura mensual media anual	26,18°C
Humedad mensual media anual	87,25%

(Fuente: SENARA, 2008)

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Ubicación del proyecto

La producción agrícola del cacao para el estudio se encuentra ubicada en el cantón de Upala. El cacao en baba utilizado como materia prima se obtuvo en los distritos de San José, las Delicias y Yolillal (Figura 3.7).

El trabajo experimental correspondiente a las pruebas preliminares del beneficio del cacao (fermentación y secado) se realizaron en las instalaciones del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (C.I.T.A) de la Universidad de Costa Rica, San José.

Las pruebas definitivas de fermentación y secado se realizaron en las instalaciones de la empresa Industrias Orgánicas del Norte (ION) localizada en la comunidad de La Verbena, en el distrito Upala del cantón de Upala.

Los análisis físico-químicos se realizaron en los laboratorios de Química y Análisis Sensorial del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

4.2 Condiciones de manejo del cacao en Upala

Se realizaron reuniones de trabajo con productores de cacao en las cuales se visitaron plantaciones en los distritos mencionados anteriormente. Durante estas reuniones se consultó sobre la organización de los grupos de productores, la cantidad de terreno dedicado a la actividad productiva, las labores de recolección del cacao en las plantaciones y sobre las condiciones del manejo del cacao durante su proceso de beneficiado.

Los principales resultados se recopilaron mediante el uso de una cámara fotográfica, se realizaron mediciones para dimensionar los módulos del beneficiado del cacao y se georeferenció la ubicación de las plantaciones visitadas mediante el uso de un GPS.

4.3 Establecimiento de la capacidad de la planta de proceso

Debido a que la información referente a volumen productivo de cacao en el cantón no se encuentra accesible al público, se toma como punto de partida para el análisis de producción de cacao fuentes secundarias en las cuales se consideran entrevistas a productores y a referencias bibliográficas.

Mediante el uso de dos estimaciones de área de plantación definidas por Ruiz (2012) y Arista y Malespín (2012), y su respectiva producción de cacao seco por año, se determina la cantidad de cacao en baba producido en el cantón de Upala utilizando las relaciones presentadas en las ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3 como se muestra a continuación:

$$\text{Cacao seco} = \text{área plantación} \times \text{rendimiento de producción} \quad (4.1)$$

Donde:

Cacao seco: producción de cacao seco y fermentado con un contenido de humedad de un 7% (kg/año)

Área de plantación: área dedicada al cultivo (ha)

Rendimiento de producción: rendimiento de producción de cacao seco (kg/ha/año)

$$\text{Cacao fermentado} = \frac{\text{cacao seco}}{\text{rendimiento secado}} \quad (4.2)$$

Donde:

Cacao fermentado: producción de cacao sometido al proceso de fermentación (kg/año)

Cacao seco: Cacao seco: producción de cacao seco y fermentado con un contenido de humedad de un 7% (kg/año)

Rendimiento secado: relación de pérdida del producto entre el proceso de fermentación y secado (%)

$$\text{Cacao en baba} = \frac{\text{cacao fermentado}}{\text{rendimiento fermentación}} \quad (4.3)$$

Donde:

Cacao en baba: producción de cacao obtenido luego de su extracción de la mazorca (kg/año)

Cacao fermentado: producción de cacao sometido al proceso de fermentación (kg/año)

Rendimiento fermentación: relación de pérdida de peso del producto entre el proceso de extracción del cacao en baba y el proceso de fermentación

A partir de los datos obtenidos se analizan los volúmenes máximos y mínimos de producción de cacao en baba para establecer un rango de producción bajo la cual podría desarrollarse la actividad productiva en la planta.

4.4 Pruebas preliminares

Se realizó en las instalaciones del CITA la determinación de la composición porcentual del contenido interno (cacao en baba, placentas) de las mazorcas de cacao y las pruebas para la obtención del producto tradicional y funcional.

Los equipos utilizados para la realización de estas pruebas se muestran en la figura del anexo A.1

4.4.1 Determinación de la composición porcentual de la mazorca

Se obtuvo cantidades variables de mazorcas de cacao (23 a 75 mazorcas) provenientes de la zona de influencia del proyecto las cuales se procesaron 3 días después de ser cosechadas. Estas mazorcas de cacao se partieron transversalmente con la ayuda de un cuchillo para luego extraer manualmente el producto interno de estas (cacao en baba), separar placentas y granos enfermos o dañados. Realizado esto se pesó con una balanza tanto las mazorcas, el cacao en baba y las placentas para determinar el peso promedio de las cascara, del cacao en baba y de las placentas para obtener la composición porcentual de los componentes de la mazorca.

4.4.2 Obtención del producto tradicional

El producto tradicional se obtuvo mediante el proceso de beneficiado del cacao, el cual consistió en colocar la masa de grano en un cajón de madera (32,5 x 27,5 x 14 cm) con orificios de drenaje en su interior para realizar el proceso de fermentación. En este cajón, se cubrió el grano con un saco y con una bolsa plástica para evitar la pérdida de calor y para evitar el ingreso de insectos. Se realizaron dos pruebas con 5,698 kg y 9,780 kg de cacao en baba respectivamente. La primera prueba se realizó en una bodega (caja isoterma) con una temperatura de aproximadamente 21°C y la segunda prueba se realizó bajo condiciones ambientales.

Durante un periodo de 8 a 10 días se llevó a cabo la fermentación en el cual se volteó la masa de grano diariamente. Con el fin de determinar el aumento de temperatura durante el proceso, antes de realizar cada volteo se midió de acuerdo a lo señalado en la figura 4.1 la temperatura a una profundidad de la mitad del espesor de la masa de grano.

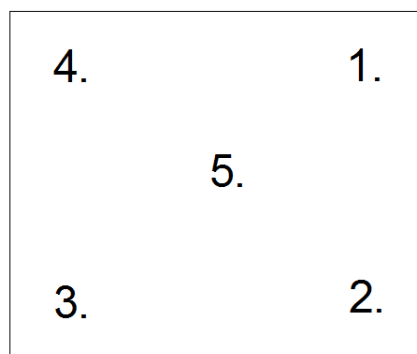


Figura 4.1. Ubicación de puntos de toma de datos de temperatura

Finalizado el periodo de fermentación se sometió el grano a un proceso de secado (45°C y 55°C) en secadores Excalibur de cinco bandejas (36 x 36 cm). Cada bandeja se cargó con una cantidad de entre 0,7 y 0,9 kg. Mediante la balanza se realizó un control horario de la pérdida de peso de la masa de grano para establecer los rendimientos del proceso y mediante el determinador de humedad se realizó un control del contenido de humedad de la masa de grano (2 a 3 mediciones diarias) para establecer la duración del proceso y el contenido de humedad final del producto.

4.4.3 Obtención del producto funcional

El producto funcional o cacao seco sin fermentar se obtuvo sometiendo la baba de cacao a un proceso de secado con una temperatura de 45°C. De igual manera a lo realizado para el proceso de secado del cacao fermentado, se cargaron las bandejas del secador Excalibur con una cantidad de entre 0,7 y 0,9 kg de producto. Se realizó el control horario de pérdida de peso y el control de contenido de humedad (2 a 3 mediciones diarias) para establecer la duración del proceso y contenido de humedad final del producto.

4.4.4 Diagramas de flujo de los procesos

Mediante las etapas o procesos considerados para la obtención del cacao fermentado y el cacao sin fermentar y las condiciones de temperatura y tiempo de secado se construyeron los diagramas de flujo de los procesos.

4.5 Pruebas definitivas de los procesos de fermentación y secado

En las instalaciones de la empresa ION se realizaron los procesos de fermentación y secado para la obtención del producto tradicional del cacao.

4.5.1 Proceso de fermentación

Para realizar el proceso de fermentación se construyó en las instalaciones de ION un fermentador tipo cajón (1x1x0,5 m) con cuatro divisiones internas. En este fermentador el manejo del producto consistió en trasladar diariamente y de compartimento a compartimento el cacao en baba para permitir el aumento uniforme de la temperatura dentro de esta masa de producto. (Anexos A.2, A.3, A.4, A.5)

El proceso de fermentación controlado se inició con cacao en baba (168 kg y 300 kg) proveniente de la finca de Nicolás Veliz ubicada en El Progreso de San José de Upala el cual fue transportado en bolsas plásticas dentro de sacos hasta las instalaciones de ION. El cacao fue pesado mediante el uso de una balanza y dividido en cada compartimento del cajón, para la primera prueba en dos compartimentos (85,1 kg y 82,5 kg) y para la segunda prueba en tres compartimentos (95,5 kg, 101 kg y 101,5 kg).

Diariamente se midió la temperatura de la masa de grano al igual como se muestra en la figura 4.1, la temperatura. Se tomaron muestras diarias de 200 a 300 gramos las cuales fueron utilizadas para determinar su contenido de humedad entre otros parámetros. Estas muestras fueron empacadas y congeladas para su posterior transporte hasta el laboratorio de Química del CITA.

Finalizado el proceso de fermentación se pesó la masa de cacao en cada compartimiento para determinar el rendimiento del proceso.

4.5.2 Proceso de secado

Una vez transcurridos los 5 días correspondientes al proceso de fermentación se procedió a realizar el secado. Realizado esto, se distribuyó la masa de grano en las bandejas del secador (3,5 a 4,5 kg por bandeja) y se colocó el producto a secar a una temperatura promedio de 45°C.

Durante el proceso se controló la pérdida de peso del producto en las bandejas y se determinó el comportamiento del contenido de humedad en el grano mediante el uso de la ecuación 4.4 como se muestra a continuación:

$$H_x = 1 - \left(P_i * \frac{(1 - H_i)}{P_x} \right) \quad (4.4)$$

Donde:

H_x= porcentaje de humedad del producto en el tiempo x (base húmeda)

H_i= humedad inicial del cacao (base húmeda)

P_i= peso inicial del cacao (kg)

P_x= peso del cacao en el tiempo x (kg)

Para determinar la eficiencia instantánea de secado, se controló la temperatura y humedad relativa del aire ambiente, la temperatura de calentamiento y la temperatura del aire de salida. Esta relación se determinó mediante el uso de una carta psicrométrica como la mostrada en la figura 3.5 para establecer el cálculo presentado en la ecuación 1.1.

4.6 Anteproyecto de la planta de procesamiento

De acuerdo con los requerimientos de los procesos planteados para la actividad agroindustrial se procede a realizar un dimensionamiento de la planta de proceso donde se toma en cuenta las áreas de movimiento de personal (servicios sanitarios, vestidores, área administrativa, comedor), áreas de manejo de producto y áreas de movimiento de vehículos.

Con base en los requisitos presentados por Navarro (2011) para plantas de proceso hortofrutícolas se presenta un cuadro con las principales áreas de la planta, su dimensionamiento y las características que deben poseer para cumplir con el aseguramiento de la inocuidad de los procesos que se llevan a cabo en la infraestructura planteada.

V. RESULTADOS

5.1 Características de la producción de cacao

5.1.1 Organización de los grupos productores de cacao

Debido a que las plantaciones de los productores son relativamente pequeñas (aproximadamente de 2 hectáreas), se han creado agrupaciones que comercializan el cacao en baba con empresas industriales de la zona del Caribe del país, las cuales recolectan esta materia prima en las fincas.

En la zona se destacan dos grupos organizados de productores de cacao. Un primer grupo corresponde a la Asociación de Pequeños Productores de Cacao de Upala el cual se encuentra conformado por aproximadamente 150 productores, los cuales poseen alrededor de 320 hectáreas, de las cuales según encargados de la asociación unas 183 hectáreas se encuentran certificadas como orgánicas. Un segundo grupo formado por la familia Veliz en El Progreso de San José de Upala el cual posee bajo su organización la producción de entre 45 y 50 hectáreas de cacao orgánico.

Con la formación de estos grupos de productores se ha logrado obtener ayuda de organismos nacionales e internacionales los cuales han apoyado con recursos para el mejoramiento de las labores administrativas y productivas de los grupos de productores

5.1.2 Características de las plantaciones

Según datos de la Asociación, la actividad cacaotera es llevada a cabo en fincas las cuales no sobrepasan las 2 hectáreas de extensión. Esto genera poca rentabilidad de la actividad por lo que estas plantaciones deben ser trabajadas en asocio con otros cultivos como musáceas, papaya, maíz, frijoles y el tiquizque entre otros (Figura 5.1), con los cuales mientras se desarrolla el cacao (3 a 4 años desde la siembra hasta la primera cosecha) es posible obtener ingresos adicionales que vienen a ayudar a la economía de las familias.



Figura 5.1 Cultivos de papaya y plátano en asocio con cacao

5.1.3 Beneficiado del cacao

En las plantaciones se realiza la recolecta de las mazorcas del cacao y estas se transportan hacia un área donde se realiza el proceso de quiebra de las mazorcas y extracción de la baba de cacao. De acuerdo a lo observado, la quiebra de mazorcas se realiza con cuchillo y la baba del cacao extraída manualmente se coloca en estañones plásticos. Según se muestra en la figura 5.2 las cáscaras de las mazorcas son utilizadas en las mismas plantaciones como un aporte de materia orgánica para el suelo.



Figura 5.2 Obtención de la baba de cacao y manejo de las mazorcas en la finca de Nicolás Veliz

Para realizar las labores del beneficiado del cacao, la Asociación de Productores recibió apoyo de la organización Promoviendo Mercados Sostenibles (PROMES) con fondos de la Cooperación Española, para la construcción de fermentadores tipo cajón y plataformas de secado las cuales poseen las características señaladas en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Características de los módulos para etapas de poscosecha del cacao

	Dimensiones	Capacidad	Cantidad
Cajones de fermentación	2 x 0,72 x 0,72m	900 kg de cacao en baba	10
Plataforma de secado solar	3,5 x 2m 0,8 m de altura	315kg Con una capa de grano de 5 cm	12

Las figuras 5.3 y 5.4 ilustran los fermentadores y plataformas de secado que se construyeron con fondos PROMES.



Figura 5.3 Cajones de fermentación



Figura 5.4 Plataformas de secado solar

Los productores que realizan el beneficio del cacao en sus fincas utilizan un secador con techo corredizo. En este se coloca el grano a secar en una plataforma en donde constantemente se realizan remociones para uniformar el secado del producto y cuando se presentan condiciones desfavorables para el secado (precipitaciones) se cubre con el techo.

Este tipo de secador se presenta en la figura 5.5.



Figura 5.5 Secador de techo corredizo en las Delicias de Upala

De manera similar pero a menor escala, las actividades poscosecha del cacao son realizadas por el grupo de cacaoteros de la familia Veliz. Estos cuentan con dos cajones de 2 x 1,5 x 0,5m para realizar el proceso de fermentación y para el secado tres camas de secado solar las cuales cubren con plástico cuando se presentan lluvias (Figura 5.6)



Figura 5.6 Fermentadores y secadores del grupo de productores de la familia Veliz en San José de Upala

Con respecto a productores con plantaciones más pequeñas, el proceso de fermentación se realiza de manera artesanal, el cual por lo general es en sacos o en pequeños montones cubiertos con hojas de plátano. El secado lo realizan en plataformas de menor tamaño que las presentadas en las figuras anteriores.

En la figura 5.7 se presentan secadores solares utilizados respectivamente en las comunidades del Progreso y en Canalete, los cuales son utilizados para secar pequeñas cantidades de cacao.



Figura 5.7 Plataformas de secado utilizadas en Canalete y en el Progreso de Upala

5.1.4 Problemática presentada con los módulos de beneficiado

Los módulos de beneficio del cacao fueron establecidos en un terreno que no presenta las características adecuadas de cobertura y drenaje para evacuar aguas de lluvia. Esto provoca el encharcamiento del terreno y dificulta las labores que deben ser realizadas por el personal, por lo que se genera un ambiente inadecuado para el cacao (Figura 5.8).



Figura 5.8 Condiciones del terreno bajo condiciones lluviosas

De igual manera, por las condiciones lluviosas de la zona, los secadores deben estar protegidos gran parte del tiempo con una cobertura plástica como se muestra en la figura 5.8 puesto que tanto la humedad del grano como la del suelo se condensa y vuelve a caer sobre el grano, alargando el tiempo de secado del producto e influyendo negativamente por el posible desarrollo de hongos. De acuerdo con lo consultado, se estima que el tiempo de duración del secado ronda un periodo de 6 a 9 días bajo condiciones climáticas favorables.

5.2 Establecimiento de la capacidad productiva de la planta

De acuerdo con Ruiz (2012), el área cultivada con cacao en Upala se aproxima a las 200 hectáreas, las cuales tienen un rendimiento productivo de entre 350 y 900 kg de cacao seco por hectárea por año. Los rendimientos de secado y fermentación de cacao propuestos por

la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao) (2005) corresponden al 45% y 85% respectivamente.

Los resultados de producción de cacao seco, cacao fermentado y cacao en baba estimados a partir de 200 hectáreas de cacao mediante las ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3 se presentan en el cuadro 5.2.

Cuadro 5.2 Volumen de producción estimado a partir de 200 hectáreas de cultivo

Área cultivada (ha)	200	
Rendimiento de producción (kg/ha/año)	350	900
Cacao seco (kg/año)	70 000	180 000
Rendimiento secado (%)	45	
Cacao fermentado (kg/año)	155 555	311 111
Rendimiento fermentación	85	
Cacao en baba (kg/año)	183 006	366 013
Cacao en baba (kg/mes)	15 250	30 051

De acuerdo con Arista y Malespín (2012), la producción de cacao se realiza en un área de 320 hectáreas las cuales tienen un rendimiento de entre 350 y 900 kg de cacao seco por año.

De igual manera se presenta en el cuadro 5.3 los resultados obtenidos de producción de cacao seco, cacao fermentado y cacao en baba estimados a partir de 320 hectáreas de cultivo.

Cuadro 5.3 Volumen de producción estimado a partir de 320 hectáreas de cultivo

Área cultivada (ha)	320	
Rendimiento de producción (kg/ha/año)	350	900
Cacao seco (kg/año)	112 000	288 000
Rendimiento secado (%)	44	
Cacao fermentado (kg/año)	248 888	640 000
Rendimiento fermentación	85	
Cacao en baba (kg/año)	292 810	752 941
Caca en baba (kg/mes)	24 400	62 745

Por último, Herrera (2007) coincide con que la producción de cacao en el cantón se realiza en aproximadamente 320 hectáreas. Además, este autor establece una producción de 8 333 kg de cacao en baba por mes con una proyección de aumento del doble para el año 2010 (16 667 kg /mes)

Del anterior análisis se presenta el cuadro 5.4 un resumen de los principales datos obtenidos de la estimación de la producción de cacao en baba.

Cuadro 5.4 Resumen de datos resultado de la estimación de la producción de cacao en baba

	Área de producción (ha)	Rendimiento de plantación (kg/ha/año)	Producción cacao baba (kg/mes)	Referencia
Máximo	320	900	62 745	Arista y Malespín (2012)
Promedio	-	-	35 539	-
Mínimo	320	-	8 333	Herrera (2007)

De acuerdo con los resultados recopilados en el cuadro 5.4, la producción de cacao en baba podría estimarse entre una cantidad mínima de 8333 kg/mes y una cantidad máxima de 62745 kg/mes. El promedio asociado a estos datos correspondería a 35539 kg/mes.

A partir de esto anterior, se establece que la planta de proceso debe tener una capacidad de entre el 70% de la producción promedio (24 000 kg/mes) y el máximo de la producción promedio (35 500 kg/mes). Esto de la mencionada manera para evitar realizar tanto un anteproyecto muy conservador como un anteproyecto sobredimensionado.

5.3 Pruebas preliminares del beneficio controlado del cacao

5.3.1 Composición porcentual de la mazorca de cacao

El cuadro 5.5 presenta los resultados de los pesos de las mazorcas y del producto interno en estas de las cuatro pruebas realizadas en laboratorio. Del producto analizado se obtuvo como promedios (cuadro 5.6) que las mazorcas presentaron un peso entre 0,566 kg y 0,793 kg. En estas mazorcas se obtuvo una cantidad de cacao en baba desde los 0,130kg hasta los 0,174 kg representados por un promedio de 0,149 kg de cacao en baba por mazorca y en cuanto a las placentas del cacao, un peso promedio de 0,016 kg por mazorca.

Cuadro 5.5 Resultados de peso de las mazorcas, peso del cacao en baba y placentas

Prueba	1	2	3	4
Cantidad de mazorcas	23	29	51	75
Peso cáscaras (kg)	12,518	17,426	22,875	31,581
Cacao en baba (kg)	3,364	5,042	7,345	9,780
Placenta (kg)	0,388	0,542	0,660	1,109

Cuadro 5.6 Valores promedio y porcentajes asociados a los pesos de mazorcas, cacao en baba y placentas

Prueba	1	2	3	4	%
Peso promedio mazorca (kg)	0,707	0,793	0,605	0,566	100
Peso cáscara por mazorca (kg)	0,544	0,600	0,448	0,420	74
Cacao en baba por mazorca (kg)	0,146	0,174	0,144	0,130	23
Placenta por mazorca (kg)	0,017	0,019	0,013	0,015	3

En la figura 5.9 se muestra el corte transversal realizado a una mazorca de cacao y se señalan en esta sus principales partes, correspondientes a la placenta, el cacao en baba y su cubierta o cáscara. De igual manera y de acuerdo con los datos presentados en el cuadro 5.6, se señala en la figura 5.9 la distribución porcentual de las placentas, la baba de cacao y las cáscaras con respecto al peso total de una mazorca.

Relacionado con los resultados presentados en el cuadro 5.6, Castillo et al (2010) menciona que del peso total de una mazorca, únicamente el 10% representa el producto aprovechable (cacao en baba). Sin embargo, Navia y Pazmiño (2012) señalan que del peso total de la mazorca, un 26% corresponde al cacao en baba y un 4% corresponde a la placenta de la mazorca. La Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao, 2005) presenta que el cacao en baba representa el 25% del peso total de una mazorca.

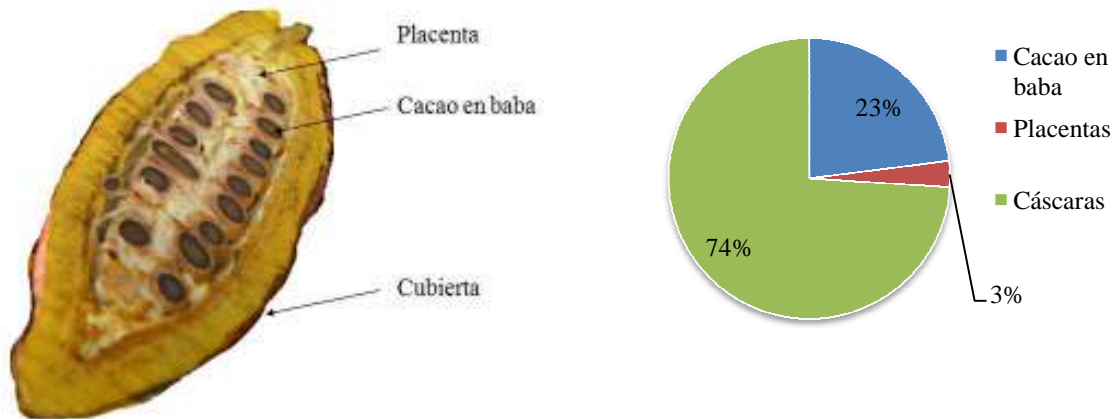


Figura 5.9. Composición de la mazorca del cacao

En las figuras 5.10, 5.11 y 5.12 se observa la variabilidad de color y forma de las mazorcas, el desgranado del cacao y la separación de las placentas de la mazorca durante la determinación de la composición porcentual de las mazorcas del cacao.



Figura 5.10 Limpieza de las mazorcas



Figura 5.11 Extracción del cacao en baba



Figura 5.12 Separación de la placenta del cacao

5.3.2 Obtención del producto fermentado de cacao

5.3.2.1 Fermentación

Con respecto a la primera prueba se observa en la figura 5.13 que la masa de cacao adquiere su máximo valor de temperatura de 30°C transcurrido el quinto día. A pesar que Hernández (1991) establece que el tiempo de una adecuada fermentación corresponde a 5 días, durante esta prueba no se alcanzó la temperatura adecuada (45°C) para la correcta realización del proceso.

El comportamiento de la segunda prueba muestra que durante un periodo más largo (8 días) la masa de cacao alcanza una temperatura máxima de 40°C. A pesar que el periodo de fermentación concuerda con el establecido por Enríquez (2004), se presenta el mismo caso que la temperatura de la masa de grano es inadecuada para una correcta fermentación.

Al comparar el comportamiento de las temperaturas de ambas pruebas se observa que la temperatura de la masa de grano de la segunda prueba transcurrido el quinto día es ligeramente mayor. Esto podría deberse a la mayor cantidad de cacao utilizado (4 kg).

Para ambos casos es posible establecer que la temperatura de la masa de grano no alcanzó los valores esperados por efecto de la temperatura ambiental (20 a 23°C) durante la realización de ambas pruebas, puesto que autores como Contreras et al (2004) obtuvieron

fermentaciones satisfactorias bajo condiciones de temperatura promedio de 26°C y con el uso de cajones de fermentación de menor tamaño (20 x 10 x 10 cm).

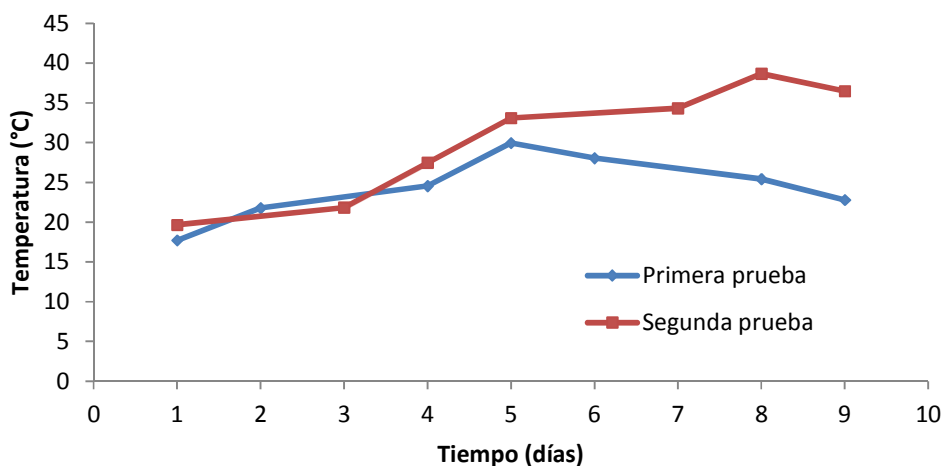


Figura 5.13 Comportamiento de la temperatura durante los procesos de fermentación

En el cuadro 5.7 se presenta el rendimiento asociado al proceso de fermentación de ambas pruebas. En este se observa que la masa en fermentación pierde entre un 30 y 35% de su peso inicial.

Cuadro 5.7 Pérdida de peso asociado al proceso de fermentación

	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Pérdida de peso (%)
1	5,698	3,868	32
2	9,780	6,371	35

Una vez finalizado el proceso de fermentación, el cacao presentó un contenido de humedad de un 55%, el cual concuerda con la información presentada por Alfaro (1998).

La figura 5.14 muestra el aspecto inicial del cacao en baba y el aspecto final del cacao una vez concluido el proceso de fermentación. En esta se observa el color café-rojizo característico del grano que se obtiene al finalizar la etapa.



Figura 5.14 Aspecto inicial del cacao y aspecto del cacao al finalizar la fermentación

5.3.2.2 Secado

Mediante el flujo del aire de secado, se extrae la humedad que el grano contiene hasta llegar aproximadamente a un contenido de humedad del 7% para que el producto posea características organolépticas aceptadas para la comercialización.

Las figuras 5.15 y 5.16 muestran el comportamiento de la pérdida de peso de la masa de cacao a temperaturas de 45°C y 55°C.

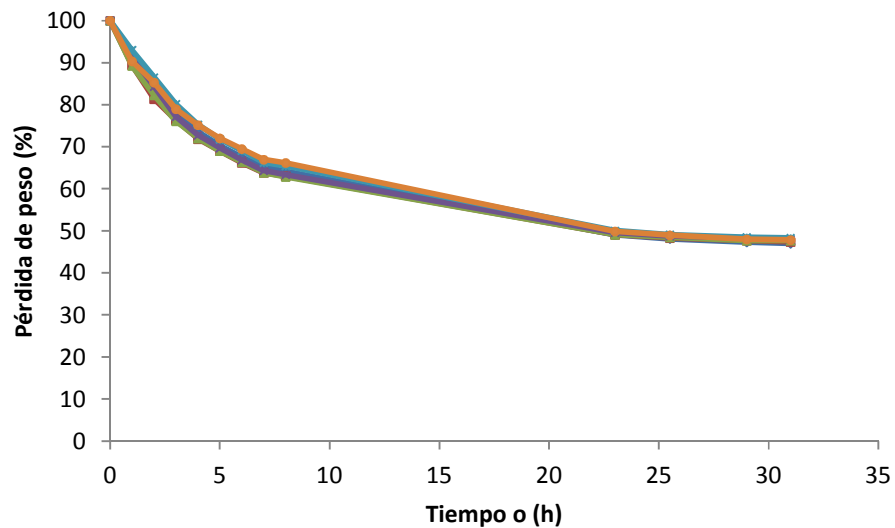


Figura 5.15 Comportamiento de la pérdida porcentual de peso para la obtención del producto tradicional a una temperatura de secado de 45°

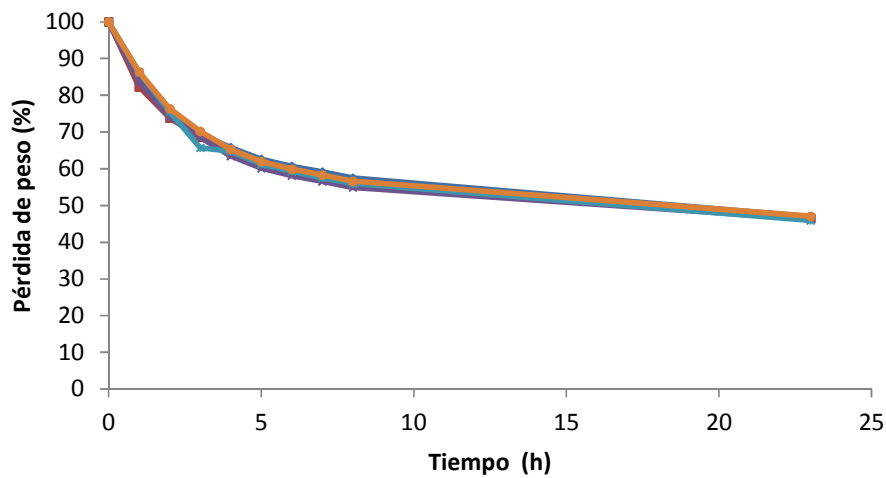


Figura 5.16 Comportamiento de la pérdida porcentual de peso para la obtención d el producto tradicional a una temperatura de secado de 55°C

Estas figuras 5.15 y 5.16 muestran que durante el periodo comprendido entre las primeras 5 y 10 horas el producto pierde peso rápidamente. Las pérdidas de peso presentadas en este periodo corresponden a valores de entre un 40 y 50% para ambas temperaturas de secado. A partir de este momento el producto pierde peso lentamente hasta alcanzar un comportamiento de pérdida casi constante. Esto se observa a partir de las 23 horas del proceso de secado.

La figura 5.17 presenta el comportamiento del contenido de humedad obtenido al secar el cacao a las temperaturas de 45°C y 55°C. En esta se observa como el grano pierde humedad de manera más rápida con la mayor temperatura, generando una diferencia de 8 horas para alcanzar un contenido de humedad final de 6,5%. Esto último tendría implicaciones económicas por el gasto energético adicional requerido para obtener el contenido de humedad final del producto.

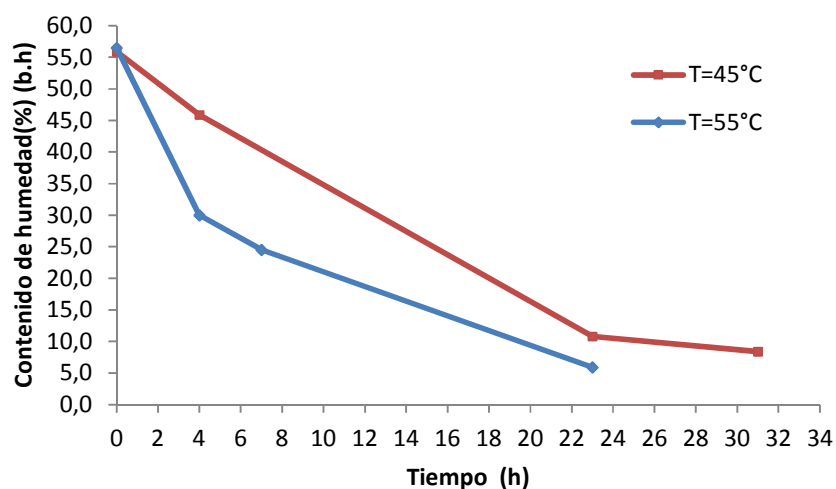


Figura 5.17 Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de secado

Finalizado el secado, se determinó que durante este proceso el grano de cacao tuvo una pérdida de peso promedio de 53,5%, el cual es independiente de la temperatura utilizada, puesto que tanto a 45°C como a 55°C los productos presentaron un contenido de humedad final de entre 6,5% y 7%.

El cuadro 5.8 presenta la pérdida de peso del cacao durante el proceso de secado a partir de la masa de grano fermentada.

Cuadro 5.8 Pérdida de peso del producto tradicional en el proceso de secado

T (°C)	Peso inicial (kg)	Peso Final (kg)	Pérdida de peso (%)
45	6,371	3,012	53
55	3,868	1,795	54

En la figura 5.18 se observa el aspecto inicial y final del cacao al concluir el proceso de secado.

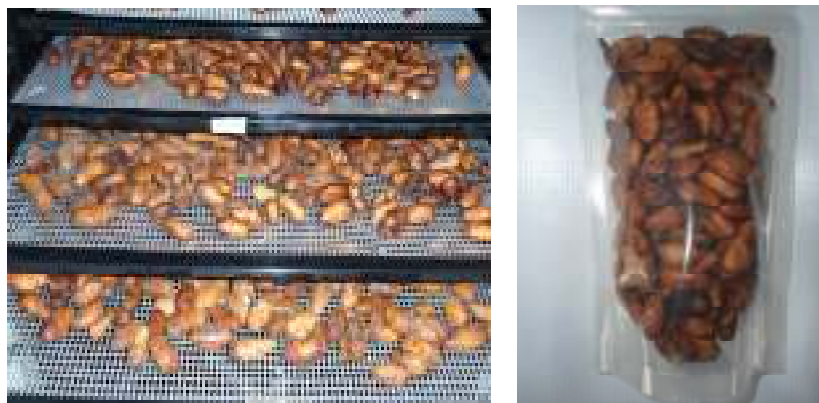


Figura 5.18 Aspecto inicial y final del cacao durante el proceso de secado

Por último, el cuadro 5.9 presenta los porcentajes de peso correspondientes al cacao en baba, el cacao fermentado y el cacao seco obtenidos durante el proceso de obtención del producto tradicional. Este muestra que el rendimiento de la obtención del producto tradicional es de un 31%. De acuerdo con Fedecacao (2005), mediante el secado solar el rendimiento del proceso es de un 38%.

Cuadro 5.9 Porcentajes de peso del cacao en baba, cacao fermentado y cacao seco

Producto	Peso (%)
Cacao en baba	100
Cacao fermentado	66
Cacao seco	31

5.3.3 Obtención del producto funcional

Para la obtención del producto funcional, una vez extraídos los granos de las mazorcas y separados de las placentas, se prosigue con el secado a una temperatura de 45°C.

Las figuras 5.19 y 5.20 muestran el comportamiento de la pérdida de peso durante pruebas realizadas.

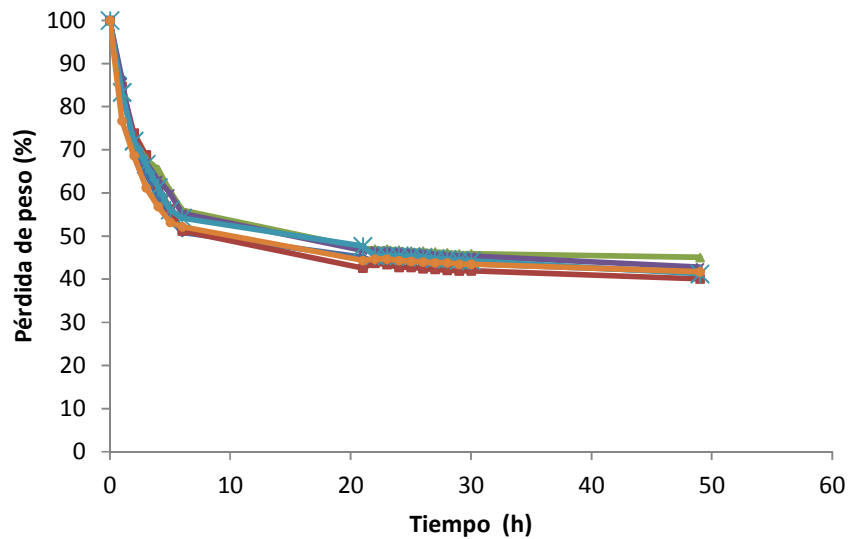


Figura 5.19 Pérdida de peso porcentual del producto funcional durante la primera prueba

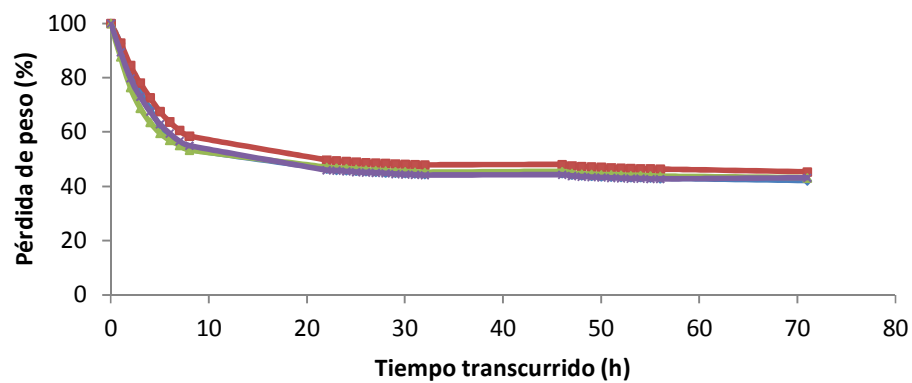


Figura 5.20 Pérdida de peso porcentual del producto funcional durante la segunda prueba

En ambos casos (figura 5.19 y 5.20) se presenta que a partir alcanzadas las primeras 15 horas el producto ha perdido aproximadamente un 50% de su peso inicial. A partir de este

momento la pérdida de peso es más lenta y una vez transcurridas 30 horas del proceso, las pérdidas alcanzan el 60%.

En la figura 5.21 se muestra el comportamiento del contenido de humedad en las pruebas realizadas. En esta se muestra que el contenido de humedad del 7% es alcanzado entre las 55 y 65 horas de proceso.

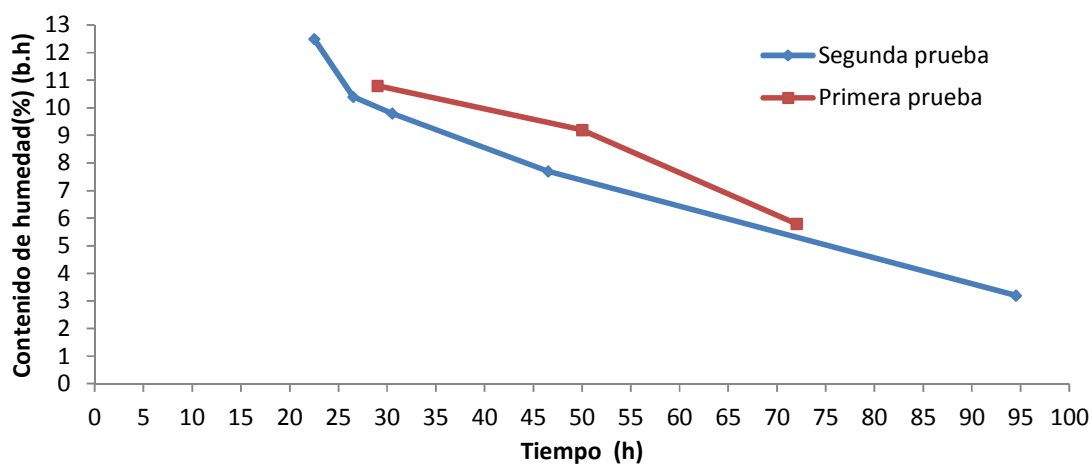


Figura 5.21 Comportamiento del contenido de humedad del producto funcional

En esta figura se observa que para obtener un contenido de humedad del 7% se debe secar el cacao durante un periodo de entre 55 y 65 horas.

Los resultados del rendimiento del proceso de obtención del producto funcional a partir de la masa de cacao en baba (100%) se muestran en las figuras 5.22 y 5.23.

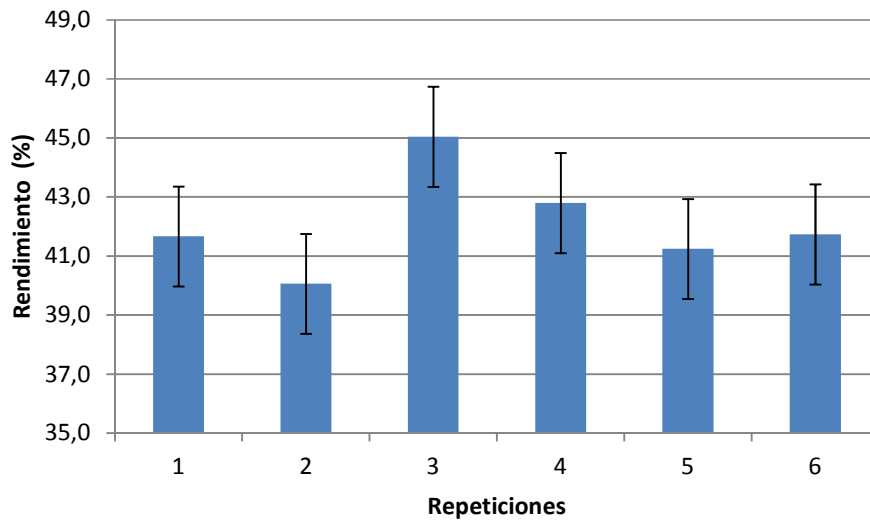


Figura 5.22 Rendimientos y desviaciones estándar asociadas al proceso de secado del producto funcional durante la primera prueba

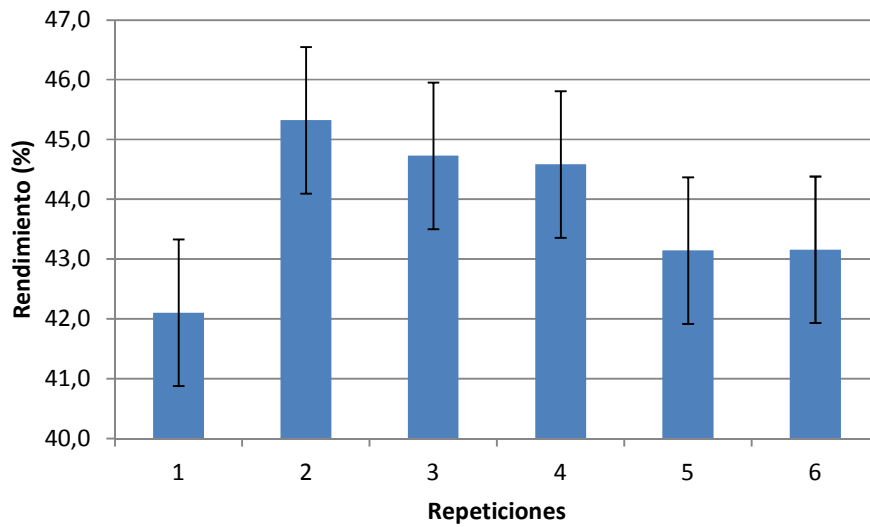


Figura 5.23 Rendimientos y desviaciones estándar asociadas al proceso de secado del producto funcional durante la segunda prueba

Como resultado final de este proceso se determinó que el rendimiento promedio de la obtención del producto funcional fue del 43,5%. El resultado individual de las pruebas realizadas se muestra en el cuadro 5.10.

Cuadro 5.10 Rendimiento de secado del producto funcional

	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Rendimiento (%)
1	3,364	1,411	41,9
2	4,243	1,862	43,9
3	1,379	0,617	44,7

Correspondiente al aspecto del producto funcional, en la figura 5.24 se observa que al final del proceso el grano conserva parte del mucílago que lo recubre ya que al proceder directo al secado este no se degrada.



Figura 5.24 Aspecto inicial del cacao en baba y aspecto final del producto funcional

5.3.4 Diagrama de flujo de los procesos

La figura 5.25 presenta el diagrama de flujo para la obtención del producto tradicional obtenido por la fermentación y secado del grano, y la obtención del producto funcional obtenido por el secado del cacao en baba.

Como etapa en común, se tiene la etapa (a) señalada en el diagrama, la cual consiste en el recibo de las mazorcas de cacao o el cacao en baba provenientes de las plantaciones. Previamente seleccionadas las mazorcas libres de daño, se procede al pesado, quebrado y extracción y selección del cacao en baba libre de daños y adecuado para los procesos siguientes. Realizado esto se determina la cantidad de cacao obtenido y se toman muestras para determinar su contenido de humedad y así establecer la posible duración de los procesos siguientes.

Finalizada la obtención del cacao en baba se prosigue con las etapas (b) y (c). La etapa (b) se refiere al proceso de obtención del producto funcional, en el cual el cacao húmedo se somete al proceso de secado a una temperatura de 45°C durante un periodo de 55 a 65 horas.

Finalizado este periodo el grano debe poseer un contenido de humedad de aproximadamente un 7%. Para su empaque y almacenamiento se utilizan sacos de polietileno.

La etapa (c) muestra el proceso para la obtención del producto tradicional. En este la masa de cacao se somete al proceso de fermentación el cual tiene una duración de aproximadamente 5 días durante el cual se debe llevar un control diario de la temperatura y se debe realizar un volteo o remoción diario de la masa de grano para homogeneizar su temperatura. Como indicadores de la finalización del proceso de fermentación se presenta un contenido de humedad de aproximadamente un 55% y el mucilago que recubría el grano se ha degradado casi en su totalidad adquiriendo un color café-violáceo. De igual manera, un descenso de la temperatura de la masa de cacao representa un indicador adicional del final del proceso de fermentación.

Finalizado el proceso de fermentación el grano se somete al proceso de secado. Este proceso se debe realizar a temperaturas menores que los 65°C, preferiblemente entre los

45°C y 55°C, lo que resulta en una duración del proceso de entre 24 y 30 horas, al final de las cuales el grano deberá poseer un contenido de humedad del 7%. El grano se empaca en sacos de yute o de igual manera en sacos de polietileno.

Figura 5.25

5.4 Evaluación del proceso final del beneficiado controlado del cacao

5.4.1 Evaluación del proceso de fermentación

En este se somete a la masa de cacao en baba a un proceso que tiene como fin la obtención de un producto con características de olor y sabor típicos del cacao obtenidos mediante una serie de cambios físico químicos provocados por cambios en los componentes del grano de cacao.

5.4.1.1 Comportamiento de la temperatura de la masa en fermentación

Los resultados del comportamiento de la temperatura durante el proceso de fermentación se muestran en el cuadro 5.11.

Cuadro 5.11 Comportamiento de la temperatura en la masa de cacao durante el proceso de fermentación

	Primera prueba		Segunda prueba		
	Cajón 1	Cajón 2	Cajón 1	Cajón 2	Cajón 3
Día 1	29,3	28,4	33,4	32,3	31,3
Día 2	34,5	33,6	45,0	46,0	44,9
Día 3	45,2	47,3	50,8	52,2	51,3
Día 4	51,0	50,6	53,0	53,2	52,7
Día 5	49,3	50,5	52,0	51,3	51,4

En este cuadro se observa que para el primer día la temperatura sube desde aproximadamente unos 27°C (temperatura ambiental) hasta los 29°C para la primera prueba y 33°C para la segunda prueba. Al segundo día la temperatura alcanzó un máximo de 34°C para la primera prueba y un máximo de 46°C para la segunda prueba. Al tercer día la masa de cacao alcanza una temperatura de 47°C para la primera prueba mientras que durante la segunda prueba se alcanza un valor máximo de 52°C. Esta diferencia marcada entre los aumentos de temperatura durante los primeros tres días se puede deber a que durante la segunda prueba se contó con mayor cantidad de cacao por cajón, específicamente de 15 a 20 kg más en cada uno de los compartimentos.

Enríquez (2004) menciona que durante las primeras 48 horas la temperatura en la masa de cacao en fermentación sube rápidamente y que a partir de este momento los cambios son menores. Esto anterior se observa en el comportamiento de la temperatura de la segunda prueba, sin embargo durante la primera prueba el aumento más marcado de temperatura se presenta del segundo al tercer día (correspondiente al periodo de 48 – 56 horas), donde esta sube en promedio 12,1°C.

Al cuarto día la temperatura tiende a alcanzar un comportamiento similar para ambas pruebas realizadas. Durante estas, la temperatura alcanzada presenta un valor de entre los 50 y 53°C en ambas pruebas.

Transcurrido el cuarto día de fermentación, se observa que la temperatura adquiere un comportamiento que indica un descenso. Hernández (1991), Enríquez (2004), Hii et al (2006) y Ortiz (2009) establecen que transcurrido este periodo de 5 días (120 horas) finaliza la etapa de fermentación la cual se caracteriza por una disminución de la temperatura de la masa del grano de cacao, las células del mucilago se desintegran y la masa de almendras se vuelve pegajosa.

Estos comportamientos de la temperatura de la masa de cacao en fermentación se muestran respectivamente en las figuras 5.26 y 5.27.

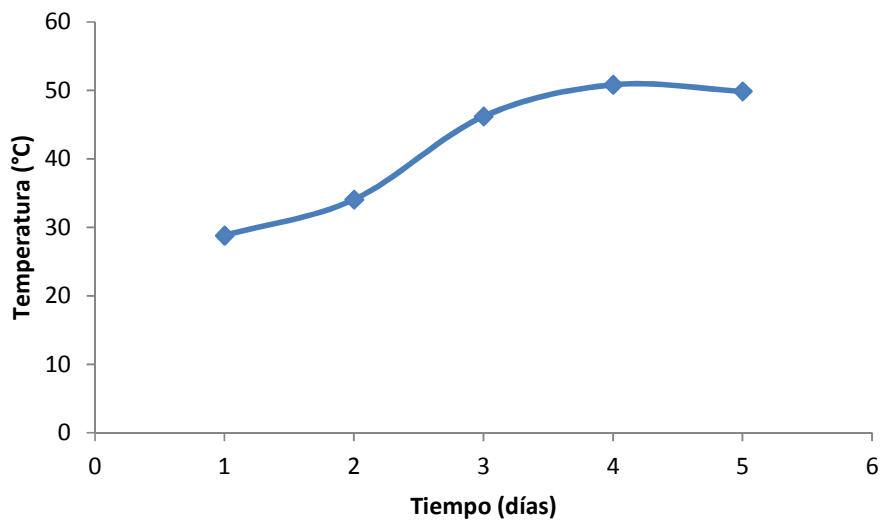


Figura 5.26 Comportamiento promedio de la temperatura de la masa en fermentación durante la primera prueba

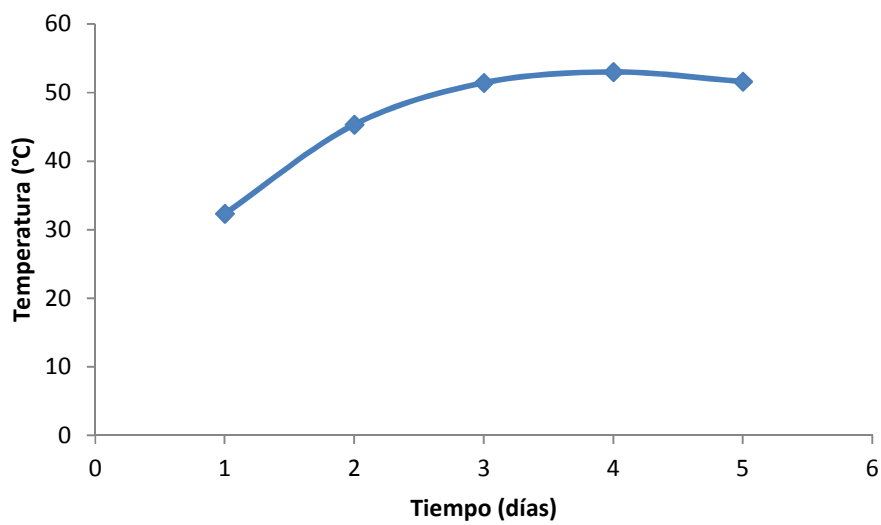


Figura 5.27 Comportamiento promedio de la temperatura de la masa en fermentación durante la segunda prueba

Durante el proceso de fermentación la masa mucilaginosa que recubre el grano de cacao se vuelve más líquida y drena a través de los agujeros en el fondo del fermentador. Enríquez (2004) establece que esta liberación de jugos es máxima durante las primeras 5 horas de abierta la mazorca y cesa casi completamente transcurridas las primeras 24 horas. Al igual que Enríquez (2004), Cross y Jeanjean (1995) establecen que transcurridos el primer y segundo día el mucilago se reduce lo cual permite la circulación de aire alrededor de los granos lo que genera un aumento sustancial de la temperatura en la masa de granos.

Las figuras 5.28, 5.29 y 5.30 muestran la masa de cacao en el día 0, los jugos que drenan del cajón de fermentación y la masa de cacao en el día 1 transcurridas las primeras 24 horas. En ellas se puede observar que al inicio el grano está totalmente recubierto del mucilago el cual impide el paso de aire entre la masa pero al segundo día los jugos del mucilago han drenado por los orificios del cajón y el mucilago se empieza a reducir.



Figura 5.28 Masa de cacao en el día 0



Figura 5.29 Drenaje de jugos en el cajón



Figura 5.30 Masa de cacao transcurrido el primer día de fermentación

En la figura 5.31 se presenta la masa de grano al quinto día de fermentación en la cual se nota la presencia mínima de mucilago el cual casi se ha degradado en su totalidad adquiriendo una apariencia desde blanca al inicio del proceso de fermentación hasta una apariencia café-violácea al final de este proceso.



Figura 5.31 Masa de cacao fermentado en el quinto día de fermentación.

5.4.1.2 Pérdida de peso del cacao durante el proceso de fermentación

Los cuadros 5.12 y 5.13 presentan los resultados de la pérdida de peso de la masa en fermentación para las dos pruebas realizadas.

Cuadro 5.12 Pérdida de peso en la masa de cacao durante la primera prueba de fermentación

	Masa inicial (kg)	Masa final (kg)	Pérdida de peso (%)
Cajón 1	85,16	54,06	36,5
Cajón 2	82,46	47,72	42,1

Cuadro 5.13 Pérdida de peso en la masa de cacao durante la segunda prueba de fermentación

	Masa inicial (kg)	Masa final (kg)	Pérdida de peso (%)
Cajón 1	95,5	67,66	29,2
Cajón 2	100,94	72,96	27,7
Cajón 3	101,55	70,54	30,5

Estos resultados indican que por cada 100 kg de cacao en baba se pierde entre 30 kg y 40 kg de peso debido a los lixiviados de la masa de cacao, la degradación del mucilago del grano y por la disminución del contenido de humedad (de 65% a 55%). Fedecacao (2005), sin especificar el método de fermentación utilizado, reporta que las pérdidas de peso durante este proceso son de 15%, lo que indica que las pérdidas de peso de la masa de cacao obtenidas en el cajón de fermentación son del doble.

En la figura 5.32 se muestra la pérdida de peso de la masa de cacao en el proceso de fermentación para ambas pruebas con los resultados de la desviación estándar de estos.

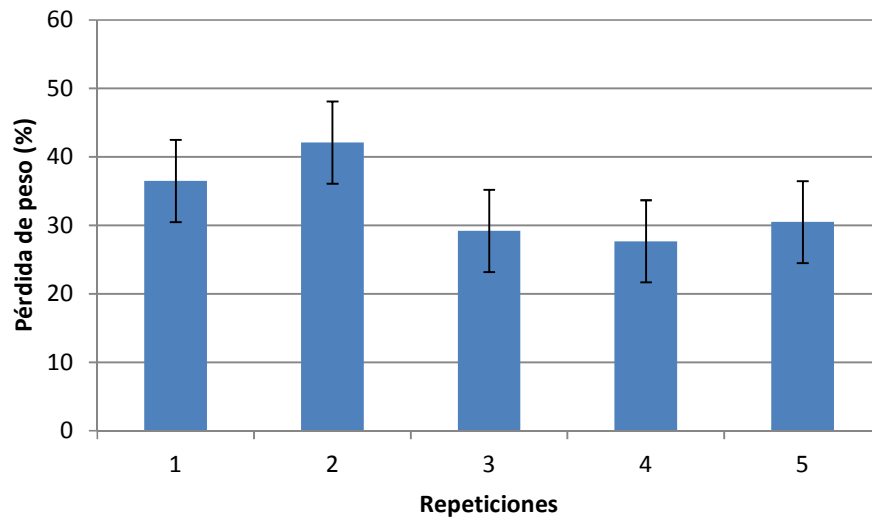


Figura 5.32 Pérdida de peso de la baba de cacao y desviación estándar asociada

5.4.2 Evaluación del proceso de secado

5.4.2.1 Descripción del equipo de secado

La figura 3.33 muestra el secador de la empresa, el cual presenta dimensiones de 2,9 x 1,9 x 1 m, con una longitud de ductos de aproximadamente 4,6 m y dispone de 4 carritos de secado con 17 bandejas de 60 x 40 x 2,5 cm.

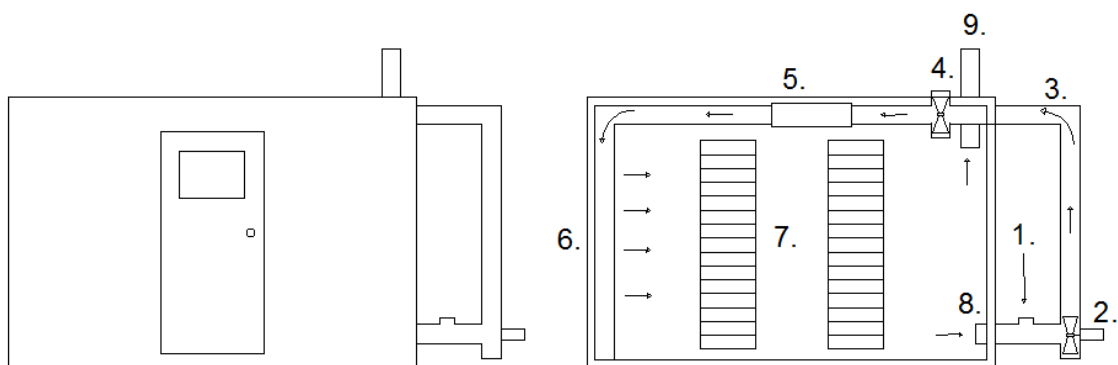


Figura 5.33 Diagrama del secador de la empresa

Las distintas partes del secador señaladas en la figura 5.33 se describen en el cuadro 5.14.

Cuadro 5.14 Partes del secador de la empresa ION

Identificación	Descripción
1	Ducto de entrada aire ambiente
2	Ventilador
3	Sistema de ductos
4	Ventilador
5	Resistencias eléctricas
6	Distribución flujo de aire caliente
7	Túnel de secado y carritos
8	Ducto de recirculación de aire
9	Chimenea de aire de salida

Como se muestra en la figura 5.33 y 5.34, en este secador el aire ambiental entra por el punto (1) y es impulsado por el ventilador (2) hacia el sistema de ductos de sección de 15 x 15 cm representado por el punto (3).



Figura 5.34 Entrada e impulsión de aire ambiente

Nuevamente, el aire es impulsado por el ventilador (4) hacia el sistema de calentamiento mediante resistencias eléctricas (5), en las cuales la temperatura se controla mediante la botonera presentada en la figura 5.35.



Figura 5.35 Ventilador (4), resistencias (5) y botonera

Mediante el sistema de ductos del secador, el aire es dirigido hacia el sistema de distribución del flujo de aire, correspondiente a la pared del secador. Esta presenta una serie de orificios de entre 1,5 y 2 cm de diámetro los cuales se encuentran separados por una distancia de entre 18 y 20 cm. Esta pared de distribución del flujo (6) se localiza dentro del túnel de secado (7) como se observa en la figura 5.36.



Figura 5.36 Distribución del flujo de aire (6) dentro del túnel de secado (7)

Finalmente, se presenta en las figuras 5.37 el ducto mediante el cual se recircula el aire de secado en el equipo.



Figura 5.37 Ducto de recirculación de aire (8)

5.4.2.2 Eficiencia de secado del proceso

La figura 5.38 muestra las condiciones de temperatura del aire de ambiente (punto 1, figura 5.33), el aire de secado (punto 5, figura 5.33) y el aire de salida registrado entre en los puntos (8) y (9) durante las pruebas de secado.

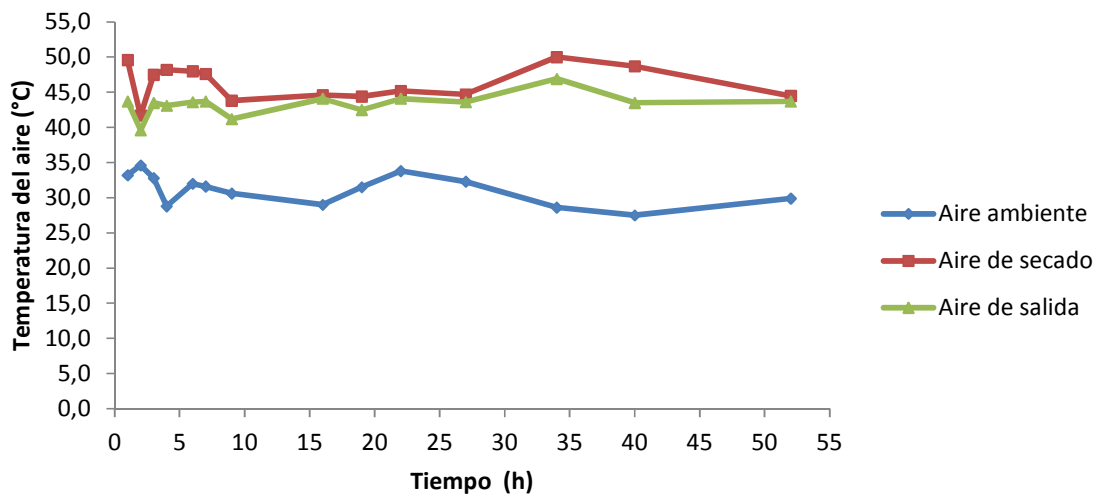


Figura 5.38 Condiciones de temperatura registradas durante las pruebas de secado

La humedad relativa del aire ambiente presentado durante el proceso de secado se muestra en la figura 5.39.

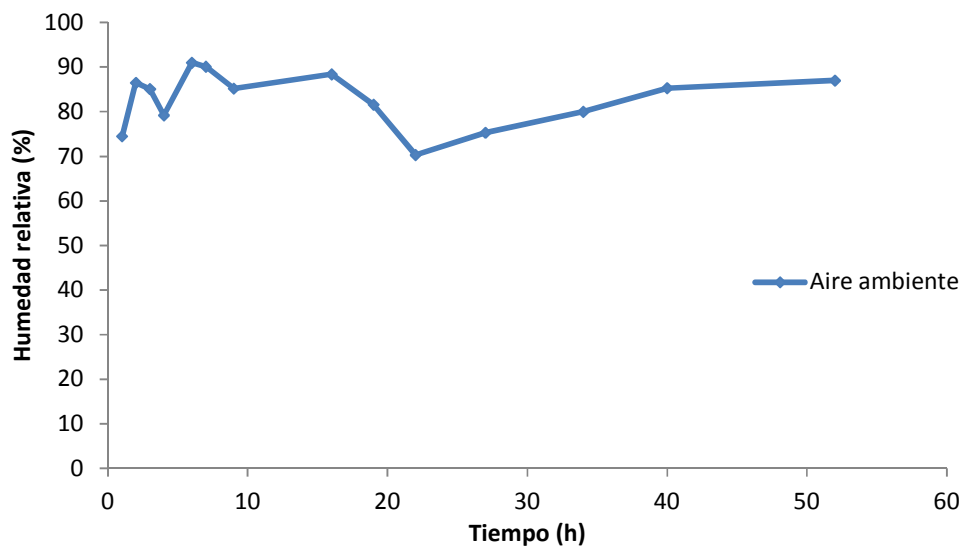


Figura 5.39 Humedad relativa del aire ambiente durante el proceso de secado

En la figura 5.40 se presenta las condiciones promedio obtenidas durante el proceso de secado en un diagrama psicrométrico.

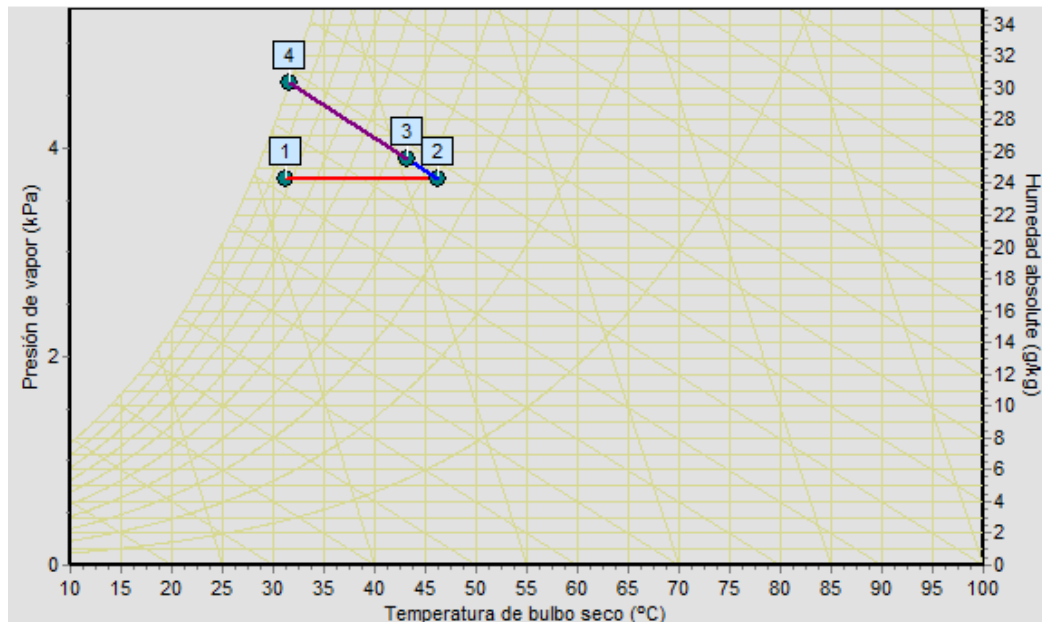


Figura 5.40 Diagrama psicrométrico de las condiciones promedio de secado

En esta figura 5.40 se muestra entre los puntos (1) y (2) el proceso de calentamiento del aire ambiental, el cual ocurre a una humedad absoluta constante. Entre los puntos (2) y (3) ocurre el proceso de secado, el cual se realiza a entalpia constante. Durante este proceso de secado el aire que circula por la masa de grano extrae la humedad presente en este, lo cual se observa por un aumento de la humedad absoluta. Finalmente, el proceso que se presenta entre (2) y (4) muestra la capacidad máxima de extracción de humedad por parte del aire. En el punto (4) el aire tendría una humedad relativa del 100%.

Mediante el análisis psicrométrico de las condiciones presentadas durante el proceso de secado y con el uso de la ecuación 1.1 se muestra en la figura 5.41 la eficiencia instantánea del proceso de secado.

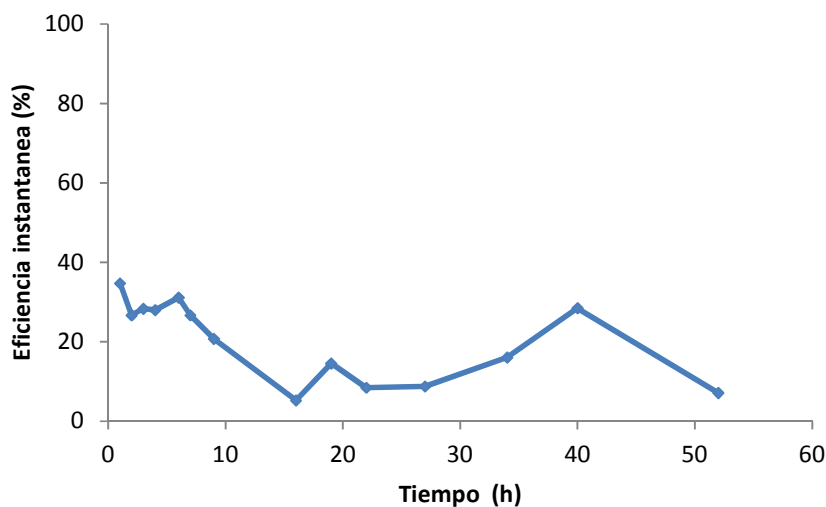


Figura 5.41 Eficiencia instantánea del proceso de secado

En esta figura 5.41 se presenta que el proceso tiene una eficiencia instantánea máxima de 34% y mínima de 5%, con un promedio de 20%. A nivel de laboratorio, Alfaro (1998) obtuvo valores de eficiencias en un rango de entre 43% y 67%, evaluadas con una temperatura de 48°C y un caudal de 48m³/min/m³.

A pesar de que las bajas eficiencias obtenidas en las pruebas realizadas se puedan deber al mal funcionamiento del equipo, la problemática presentada con la falta de fluido eléctrico al momento de realizar las pruebas y por posibles fallas en el sistema de distribución de aire, se podría considerar las condiciones de secado establecidas por Alfaro (1998) tanto para mejorar la eficiencia del proceso de secado del equipo de la empresa ION y el diseño del secador de la planta que se presenta como anteproyecto para procesar el cacao en el cantón de Upala.

Por último, la figura 5.42 presenta el comportamiento de la pérdida de humedad del grano del cacao. En esta se observa que el proceso de secado presenta una duración de 52 horas para obtener un producto con un contenido de 9%. Esto refleja la baja eficiencia del equipo para remover la humedad en el grano de cacao.

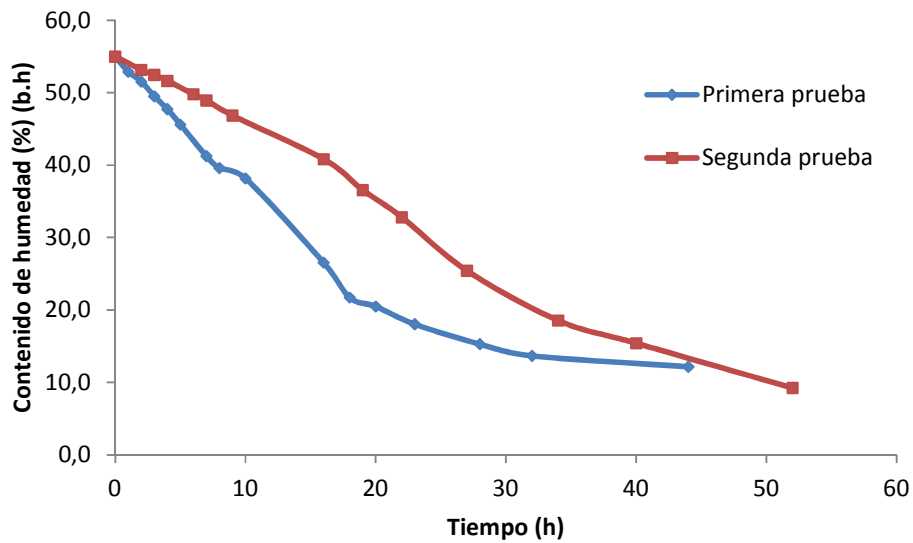


Figura 5.42 Comportamiento del contenido de humedad

5.4.3 Rendimiento final del beneficiado del cacao

La figura 5.43 muestra los pesos asociados al cacao en baba, el cacao fermentado y el cacao seco obtenidos durante las pruebas de beneficiado de cacao.

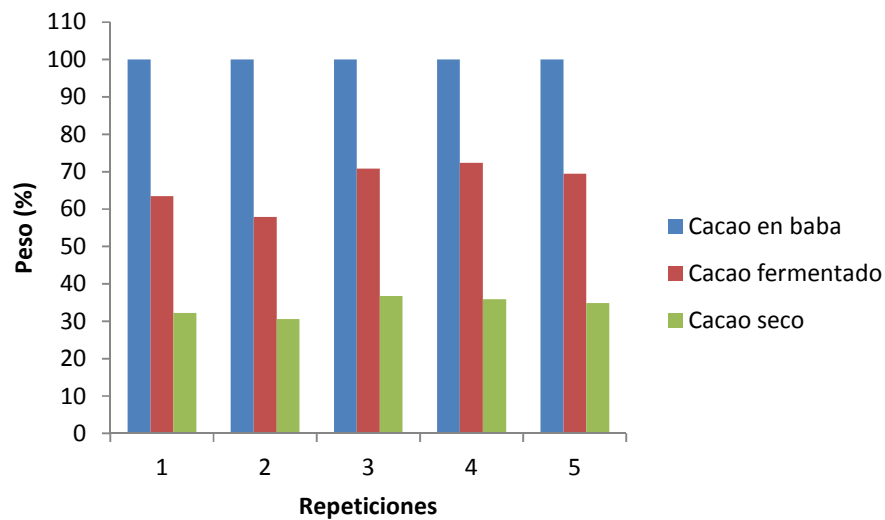


Figura 5.43 Porcentaje de peso asociado al cacao en baba, el cacao fermentado y el cacao seco

En el cuadro 5.15 se presenta los resultados de rendimiento promedio obtenidos durante el proceso del beneficiado

Cuadro 5.15 Porcentajes de peso del cacao en baba, cacao fermentado y cacao seco

Producto	Peso (%)
Cacao en baba	100
Cacao fermentado	65,9
Cacao seco	34,1

Por último se presenta que el proceso de beneficiado del cacao tradicional tuvo un rendimiento promedio de 34%. La figura 5.44 muestra el comportamiento individual de las pruebas realizadas.

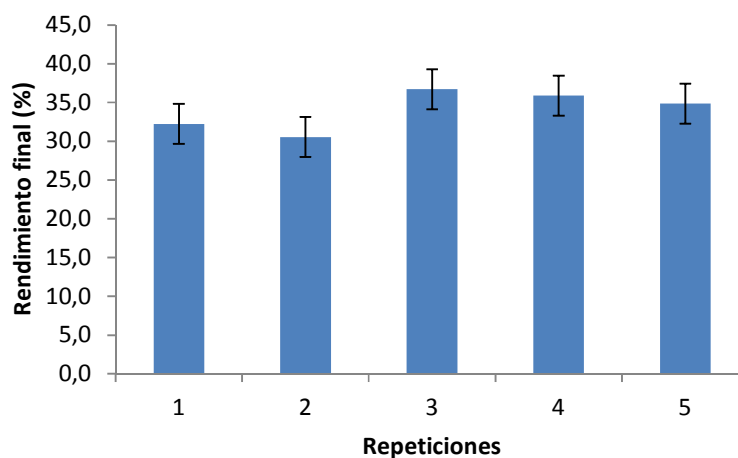


Figura 5.44 Rendimiento final del proceso de secado

5.5 Anteproyecto de la planta de procesamiento

5.5.1 Características del terreno para la instalación de la planta de procesamiento

La ubicación del terreno fue seleccionada por los encargados de la Asociación de Productores. Este terreno se encuentra localizado 4,5 km al noroeste del centro de Upala, entre los poblados de Quebradón y las Delicias en el distrito Delicias de Upala (Figura 5.45).

El acceso a este terreno se puede realizar tomando la ruta 4 hacia el poblado de Quebradón o la ruta 728 hacia el poblado de Delicias pasando por el poblado de Fósforo mediante una ruta vecinal que comunica Quebradón con la vía que va hacia Delicias.



Figura 5.45 Localización del terreno para la instalación de la planta de procesamiento

La finca en la que se pretende desarrollar el proyecto se ubica a una distancia de aproximadamente 30 m de la vía presentada en la figura 5.45. De acuerdo con lo establecido por Navarro (2012), el Código de Construcciones de Costa Rica establece una distancia mínima de 25m de carreteras para el desarrollo de instalaciones alimentarias.

Este terreno para la instalación de la planta de procesamiento se encuentra a una elevación de 54 m.s.n.m. De acuerdo con el Mapa de Valores de Terrenos por Zonas Homogéneas del Cantón de Upala (Ministerio de Hacienda, 2012), el terreno posee una pendiente menor del 5% y un valor por metro cuadrado de entre 400 y 4 000 colones.

Con respecto a la problemática de inundaciones presentadas en algunas zonas de Upala, el Senara (2008) muestra que el acceso al terreno para la instalación de la planta se vería afectado por cauce intermitente conocido como Fósforo (situado al norte del poblado con el mismo nombre), el cual podría presentar crecidas en el periodo situado entre los meses de mayo y diciembre en los cuales se presenta un mayor régimen de lluvias. A pesar de esto, se desconoce de la incidencia de inundaciones en los últimos años.

En cuanto a servicios, se presenta que el terreno no tiene acceso a agua potable y no cuenta con acometidas eléctricas. Sin embargo, paralelo a las vías de acceso al terreno se encuentran instalados postes de concreto para la instalación del tendido eléctrico en la zona. Los caminos vecinales que se presentan como medio de acceso al terreno se encuentran lastreados y en buenas condiciones.

En distintos sectores ubicados a lo largo de estos caminos se localizan pequeños proyectos de vivienda los cuales representan la posible fuente laboral para las actividades de la planta.

Las figuras 5.46 y 5.47 muestran el acceso al terreno y las características de este respectivamente.



Figura 5.46 Vías de acceso al terreno



Figura 5.47 Características del terreno

5.5.2 Anteproyecto de la planta de procesamiento

El anteproyecto de la planta cuenta con dos áreas principales según lo mostrado en la figura 5.48. Un área de recibo y manejo de materias primas (área de proceso sucio) y un área proceso de las actividades de proceso deben desarrollarse en un ambiente libre de contaminación para no afectar los productos finales (área de proceso limpio).

5.5.2.1 Ingreso a la planta de proceso

El ingreso a la planta por parte de los trabajadores se realiza por la zona de servicios sanitarios y vestidores. Esta área se debe ubicar a un nivel de 15cm por debajo del nivel de la planta de proceso y en esta los trabajadores se colocan la vestimenta requerida para la labor que desarrollen en la planta. Una vez preparado el personal, este se dirige hacia un pediluvio con dimensiones de 1 x 1 m donde desinfecta su calzado. Dependiendo de la labor que realice el personal, se hace el ingreso al área de proceso sucio o al área de proceso limpio según muestran las flechas de ingreso de personal en la figura 5.48. En el ingreso a ambas áreas se debe contar con lavamanos de accionamiento no manual.

Figura 5.48

5.5.2.2 Área de proceso sucio y manejo de materias primas

La distribución general de esta área se presenta en la figura 5.49. En esta zona se recibe el cacao proveniente de las fincas. Su respectivo andén cuenta con un techo en voladizo para proteger los productos del sol, la lluvia y el viento.

El cacao destinado a la elaboración del producto tradicional es enviado desde las fincas en sacos, bolsas plásticas y estañones plásticos. Una vez en la planta el producto es recibido, pesado y preparado para su proceso de fermentación el cual se lleva a cabo en dos fermentadores de 5 cajones en línea con dimensiones de 1 x 1 x 1m. Estos se observan con detalle en la figura 5.50. Los primeros dos cajones de cada línea cuentan con una tolva de recolección de los lixiviados de la fermentación. Estos son dirigidos hacia un sistema de tanques de almacenamiento por medio de una bomba y tuberías.

La fermentación realizada en esta área consiste en introducir cada dos o tres días 2 000kg de cacao en los sistemas en los cuales permanece por un periodo de 5 días (1 día en cada cajón). Mediante este sistema de manejo del cacao en fermentación la planta podría procesar 24 toneladas de cacao en baba por mes. Tal cantidad representa un 70% de la producción promedio del cantón de Upala, según lo establecido en el cuadro 5.4.

El cacao destinado a la elaboración del producto funcional es enviado desde las fincas en las mazorcas y sin desgranar. En la planta las mazorcas se pesan, se lavan y se procede a la extracción del grano en mesas de selección.

En esta área de proceso sucio se generan principalmente dos tipos de residuos. El primer tipo consiste en los sacos, bolsas, cajas y estañones plásticos en los cuales se transporta el cacao en baba a la planta los cuales se envían a una zona contigua a los fermentadores donde se realiza su lavado para reutilizarlos. El segundo consiste en cáscaras de las mazorcas, las cuales se desechan por una zona de salida de desechos.

Contiguo a la zona de lavado de cajas y sacos se cuenta con un espacio destinado al almacenamiento y purificación de aguas de lluvia, puesto que en el terreno para la ubicación de la planta no hay acceso a agua potable. El agua de lluvia captada y purificada va a ser utilizada en sectores de los servicios sanitarios y vestidores, pilas de lavado y otros sectores que lo requieran.

Por último, el ingreso de cacao a la zona de proceso limpio se realiza en cajas plásticas mediante dos transportadores de rodillos que comunican el área de manejo de materia prima con el área de proceso limpio. Se cuenta con un tercer transportador de rodillos el cual se utiliza para enviar las cajas plásticas vacías del área de proceso limpio hacia la zona de manejo de materia prima para su adecuado lavado.

5.5.2.3 Área de proceso limpio

En el área de proceso limpio (Figura 5.51) se realizan las labores de preparación de carritos del secador, secado, empaque de productos, control de calidad y almacenamiento de productos finales. En esta área se ubican balanzas para el pesaje de los productos que ingresan mediante los sistemas de transportadores de rodillos, mesas para la preparación de las bandejas de los carritos de los secadores y los secadores para el producto tradicional y el funcional.

El dimensionamiento del secador para el producto tradicional se establece tomando en cuenta las características de los carritos del secador en la empresa ION.

Para esto se contempla que el sistema de fermentación tiene la capacidad de recibir 2 000 kg de cacao en baba los cuales se fermentan por 5 días (1 día en cada cajón), experimentando una pérdida de peso promedio de un 30% (cuadros 5.7, 5.12 y 5.13).

Figura 5.49

Figura 5.50

El secador es un túnel de secado en el cual se utilizan carritos con bandejas (17 bandejas por carritos) y en base al producto fermentado debe tener una capacidad de secar entre 1000 y 1400 kg de cacao en un periodo de 24 a 30 horas a una temperatura de entre 55 y 60°C. El dimensionamiento del secador es el siguiente:

17 bandejas (40 x 60 cm) —————> Capacidad: 3,5kg de cacao fermentado por bandeja
—————> Capacidad: 60kg de cacao fermentado por carrito

Carritos necesarios para el secado: 1400kg/60kg —————> 24 carritos

Las dimensiones mínimas del secador se calculan entonces tomando en cuenta el acomodo de los carritos en dos hileras (12 carritos por hilera), el espaciamiento entre carrito y carrito (de 10 a 15cm) y el espaciamiento entre carritos y las paredes del secador (de 10 a 15cm) como se muestra a continuación:

El largo del túnel de secado:

$$L = (12 \times 0,4) + (13 \times 0,15) = 6,7 \text{ m}$$

El ancho del túnel de secado:

$$a = (2 \times 0,6) + (3 \times 0,15) = 1,7 \text{ m}$$

A partir de lo anterior, el secador debe tener dimensiones mínimas de 6,7 m de largo y 1,7m de ancho. Al final del proceso, se obtiene una cantidad final de cacao seco correspondiente al 30% de cacao en baba que ingreso al proceso (cuadros 5.9 y 5.15). La capacidad máxima de la planta sería de 600 kg de cacao fermentado y seco por día.

De igual manera se debe contar con un secador para el secado del producto funcional el cual se realiza a una temperatura de 45°C.

El anexo A.5 presenta el cálculo de la potencia del secador para el producto tradicional. Según esto, el secador debe tener una potencia de 94065450 kJ/h

Figura 5.51

Anexo al área de proceso limpio se ubica un laboratorio en el cual se realizan análisis de calidad de los productos como contenido de humedad y porcentaje de fermentación del cacao. También se cuenta con un área de mantenimiento donde se pueden ubicar equipos y herramientas para el buen funcionamiento de la planta, una bodega para utensilios de proceso y otra bodega de materiales de limpieza.

Se cuenta con un área para el empaque y embalaje de los productos de cacao. En esta se encuentran mesas de empaque, balanzas y equipo de sellado de bolsas y sacos. Contiguo a esta área de empaque se ubica la bodega de materiales de empaque en la cual se recibe los sacos para el empaque y otros materiales para el embalaje de los productos y se envían hacia el cuarto de empaque por medio de una ventanilla.

El almacenamiento de los productos se realiza en una bodega en la cual se estiban los productos en estanterías en las cuales el manejo de estos se realiza con un cargador. El andén de despacho también cuenta con un techo en voladizo.

5.5.2.4 Cubierta de techos y sistema de captación de agua

Como se mencionó, en la planta se debe poseer un área de almacenamiento de aguas de lluvia puesto que no hay acceso al servicio de agua potable. En la zona de recolección de agua de lluvia se canaliza el agua de la cubierta de techos de la planta de proceso por medio de canaletas y tuberías de PVC. Puesto que el agua debe ser potabilizada, el sistema debe contar con filtros para evitar el ingreso de residuos con el agua, un sistema de almacenamiento, sistema de bombeo, filtración, desinfección y purificación.

La figura 5.52 muestra la dirección de pendientes de los techos de la planta, la distribución de los equipos mencionados en la zona de recolección de agua de lluvia y una vista del detalle del sistema. De igual manera, se muestra en esta figura los techos en voladizo de las respectivas zonas de recibo de materia prima y despacho de producto terminado de la planta.

Para realizar un estimado de la captación de agua que podría realizarse, se presenta el siguiente cálculo obtenido a partir de datos de precipitación del mes de menor precipitación en Upala según el Instituto Meteorológico Nacional para el año 1990 y basado en lo establecido por Mechell *et al* (2009).

$$V = A * p * fe * fs$$

Donde: V= volumen de agua recolectada (l)
A= área de captación de agua (m²)
p= precipitación (mm)
fe= factor de escorrentía (0,95)
fs= factor de seguridad (0,85)

El volumen recolectado sería el siguiente:

$$V = 369m^2 * 41mm * 0,95 * 0,85$$

$$V = 12\ 247l$$

Este volumen representa aproximadamente 10 000 litros. Se recomienda una instalación preliminar de dos tanques de 5 000 l respectivamente.

Adicionalmente, se debe contar con un pozo para la obtención de agua en épocas de baja precipitación para evitar la dependencia del agua de lluvia.

5.5.2.5 Drenaje de pisos y evacuación de aguas grises

Además del sistema de recolección de aguas de lluvia, se debe contar con un sistema de drenaje de pisos para realizar la limpieza de derrames y suciedad en estos. Para poder realizar esto los pisos deben tener una pendiente de entre 2 y 4% y con desagües al final de estas pendientes. De acuerdo con el Manual de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios, la pendiente mínima entre ductos y colectores debe ser del 1 al 2%.

Figura 5.52

Tanto las aguas negras como las aguas grises deben ser dirigidas hacia colectores independientes para su adecuado tratamiento. En figura 5.53 muestra la ubicación de los drenajes de aguas grises en la planta.

5.5.2.6 Paredes de la planta

En la figura 5.54 se muestra la descripción de detalles de paredes de la planta. En esta se muestra para las distintas áreas de la planta las características que deben poseer. En esta se contempla que las áreas de proceso sucio y limpio deben contar con una altura de los cielos de 6 metros.

5.5.2.7 Patio de maniobras

La planta de proceso tiene acceso para vehículos por medio del patio de maniobras. En este patio de maniobras se localizan las oficinas administrativas y el comedor para el personal el cual se comunica a la planta mediante un paso peatonal. Contiguo a la zona de comedor se localiza el parqueo de la planta. La figura 5.55 muestra el patio de maniobras con los movimientos que pueden realizar los vehículos que ingresan y las principales dimensiones de esta zona.

Rodeando el patio de maniobras e instalaciones de la planta se debe contar con un cerco perimetral el cual sirva para evitar el acceso de animales y para la colocación de trampas para insectos y cebos para roedores. Esto anterior como parte del manejo integrado de plagas con el que debe contar la planta.

Figura 5.53 (84)

Figura 5.54 (85)

Figura 5.55 (86)

5.5.2.8 Distribución del sitio

En el cuadro 5.16 se presentan las áreas destinadas a cada sección de la planta y sus respectivas obras complementarias.

Cuadro 5.16 Áreas del sitio

Zona de la planta	Descripción	Área (m ²)
Planta de proceso	Proceso sucio	200
	Proceso limpio	264
Obras complementarias	Patio de maniobras	661
	(Baños, comedor, administración, zonas verdes)	161
Total		1286

Definidas estas áreas, se presenta en la figura 5.56 la distribución de todos los elementos que forman parte del anteproyecto de la planta de proceso.

Una vez establecidas las distintas zonas de la planta se procede a establecer criterios básicos con los que esta debe cumplir para llevar a cabo correctamente sus operaciones y que su diseño sea acorde a normativas para el tipo de actividad. De acuerdo a la recopilación de información realizada por Navarro (2011) para plantas de acondicionamiento de productos agrícolas, se presenta en el cuadro 5.17 recomendaciones básicas para el diseño de las zonas planteadas de este proyecto específico.

Cuadro 5.17 Recomendaciones de diseño para la planta de procesamiento

Zona	Actividad	Área (m ²)	Recomendaciones para su diseño (Navarro, 2011)
Andén de recibo de producto	Recibo de materias primas	-	<p>Debe poseer un adecuado acople de acuerdo al tipo de vehículo que entrega producto</p> <p>Debe poseer una cubierta de techo para evitar que ingrese agua a la planta y el producto se moje</p>
Zona de proceso sucio	<p>Lavado, desmane y pelado de productos línea de harinas</p> <p>Fermentación y recolección de jugos del cacao</p> <p>Lavado de cajas y sacos</p> <p>Recolección y tratamiento de agua de lluvia</p>	200	<p>El nivel del piso debe estar a una altura mínima de 30 cm sobre el nivel del terreno.</p> <p>El piso poseer una alta calidad estructural y ser resistente a agentes químicos.</p> <p>El piso poseer una pendiente mínima del 2 al 4% y deben poseer aditivos impermeabilizantes.</p> <p>La unión del piso con la pared se realiza mediante curvas sanitarias.</p> <p>Los drenajes del piso deben ubicarse al final de las pendientes, deben poseer sifones y en el exterior de la planta deben estar protegidos con malla.</p> <p>El área de techo debe ser de hierro galvanizado con perfiles tipo cajón.</p> <p>Las tuberías de abastecimiento de agua deben estar identificadas de acuerdo a un código de colores.</p> <p>Los reservorios de agua se deben limpiar cada 6 meses.</p>

			<p>Deben ubicarse estaciones de higiene personal con lavados de accionamiento no manual y con pediluvios.</p> <p>Para su ventilación se debe disponer de aberturas relacionadas con la dirección habitual del aire.</p> <p>Debe disponer de iluminación natural y artificial, con intensidades de 600 lux.</p> <p>Los bulbos de iluminación deben estar protegidos.</p> <p>Las superficies y mesas de trabajo deben ser de color opaco.</p>
Servicios sanitarios y vestidores	Ingreso a planta	18	<p>Deben estar a un nivel inferior a 15 o 30 cm que el del resto de la planta.</p> <p>Deben estar ubicados cerca del ingreso de personal.</p> <p>Su estructura debe ser sólida y sus paredes deben ser impermeables hasta una altura de 2 m.</p> <p>Sus ventanas deben tener un área mínima de 1700cm²/inodoro y 1000cm²/orinal.</p> <p>Deben poseer una iluminación de entre 100 y 200 lux.</p> <p>Las aguas residuales deben ir a un tanque séptico equipado con un sifón.</p>
Zona de proceso limpio	Proceso de secado, empaque y almacenamiento	264	<p>El ingreso de personal a la planta debe ser independiente al ingreso de producto que va a ser procesado.</p> <p>El nivel del piso debe</p>

			<p>estar a 30 cm sobre el nivel del terreno.</p> <p>Estos pisos deben tener ser de buena calidad estructural.</p> <p>De igual manera, el piso debe ser impermeable, antideslizante y poseer pendiente para su adecuada evacuación de aguas.</p> <p>La unión del piso con la pared se realiza por medio de curvas sanitarias de un radio de 25 cm.</p> <p>Las paredes deben ser impermeables y de colores claros.</p> <p>Su techo debe poseer un cielo falso el cual debe ser impermeable</p> <p>Debe poseer una ventilación artificial adecuada, especialmente en el área de molienda y empaque.</p> <p>La intensidad de la iluminación debe ser de entre 600 y 1000 lux.</p> <p>Las salidas de emergencia deben poseer barra antipánico.</p>
Bodega de almacenamiento	Almacenamiento de producto terminado	42	<p>Debe ser cerrada para evitar el daño por plagas y debe contar con tarimas para colocar los productos.</p> <p>En estas el producto debe almacenarse a 0,5 m de las paredes.</p> <p>La intensidad de la iluminación debe ser de entre 600 y 1000 lux.</p>
Andén de despacho de producto	Despacho de producto terminado	-	<p>Debe poseer un adecuado acople de acuerdo al tipo de vehículo que entrega producto</p> <p>Debe poseer una cubierta</p>

			de techo para evitar que ingrese agua a la planta y el producto se moje
Alrededores	Entrada de vehículos para entrega de materia prima y despacho de producto terminado Acceso a zona de parqueo. Zonas verdes	762	La propiedad debe estar bordeada con malla perimetral. Pavimentar únicamente el patio de maniobras. El parqueo debe estar construido con adoquines o zacate-block. Las áreas sin construir se destinan a ser zonas verdes.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Según se observó, los módulos de poscosecha de cacao de la Asociación de Pequeños Productores de Cacao del Cantón de Upala son insuficientes para llevar a cabo las etapas de fermentación y secado del cacao. De igual manera, las condiciones lluviosas que se presentan en la zona se consideran desfavorables para el proceso de secado por la duración de este y la posible afectación sobre la calidad del producto final.
- Para realizar un adecuado aprovechamiento de la capacidad de la planta presentada en el anteproyecto, se debe contar con una producción de entre 24 000 y 35 000 kg/mes de cacao en baba para la elaboración de tanto el producto funcional como el tradicional.
- De acuerdo con las características de la temperatura que debe alcanzar el cacao durante el proceso de fermentación, se establece que los procesos preliminares de fermentación realizados fueron inadecuados, debido a que en estos las máximas temperaturas alcanzadas fueron de 30°C y 40°C en periodos de entre 5 y 8 días respectivamente.
- El análisis de la composición porcentual de la mazorca presentó resultados similares a valores obtenidos por otros autores, lo que podría indicar que sin importar aspectos como el tamaño de la mazorca y la cantidad de granos que esta pueda contener, la relación de peso porcentual de sus componentes se mantiene constante.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, mediante el secado artificial del cacao es posible obtener las adecuadas características de contenido de humedad del producto final, lo que es importante por los requerimientos para el almacenamiento y comercialización del producto.

- La decisión de secar el grano de cacao fermentado a una temperatura de 45°C o 55°C, se debería realizar considerando el gasto energético en el que se incurre, ya sea por secar con aire a una temperatura mayor o por el tiempo adicional de secado que representa el utilizar una temperatura de secado menor.
- El rendimiento de la obtención del producto funcional es superior al rendimiento de la obtención del producto tradicional puesto que en este primer producto se conserva parte del mucilago del cacao en baba.
- La larga duración del proceso de obtención del producto funcional responde a las características crocantes que debe poseer el producto para poder ser presentado como una semilla tipo maní o almendra.
- A pesar de que los valores de pérdida de peso obtenidos durante las pruebas de fermentación representan el doble de lo presentado en las referencias consultadas, no es posible determinar la razón de esto porque se desconoce los métodos de fermentación utilizados.
- Durante la segunda prueba de fermentación en Upala, se presenta un mayor incremento de temperatura en la masa de fermentación durante los primeros dos días, posiblemente por la mayor cantidad de cacao en los cajones. A pesar de esto, del tercer al quinto día el comportamiento de la temperatura es similar para ambas pruebas realizadas, y el descenso de temperatura presentado en el quinto día representa el indicador de la finalización del proceso de fermentación.
- De acuerdo con los resultados obtenidos y los presentados en la literatura consultada sobre procesos de beneficiado del cacao, independientemente de la cantidad de cacao que se procesa, el rendimiento final de la obtención del producto tradicional es del 31%.

- La baja eficiencia instantánea de secado presentada en el secador de la empresa ION se puede deber a problemas funcionamiento del equipo en sí y a deficiencias al diseño de este en cuanto a la distribución del flujo de aire de secado.
- El anteproyecto de planta realizado representa el punto de partida para el posterior desarrollo de la actividad agroindustrial que se está planteando. Esto en cuanto a la las decisiones sobre el diseño técnico de la planta y la puesta en operación del proyecto.
- De igual manera, la infraestructura presentada en el anteproyecto de planta podría ser una opción viable para otras zonas productoras de cacao en el país.

6.2 Recomendaciones

- Realizar una evaluación de la capacidad productiva de las fincas así como el establecer una proyección de crecimiento de las plantaciones con cacao para establecer de igual manera una capacidad de planta inicial y una proyección de capacidad de procesamiento adicional.
- Para complementar la investigación presentado sobre el proceso de beneficiado del cacao, se deben realizar pruebas de recolección de los lixiviados del proceso de fermentación para definir las pérdidas presentadas en el grano por este factor y las alternativas de aprovechamiento de este subproducto del proceso.
- Realizar pruebas de control de calidad tanto de la materia prima para definir las condiciones óptimas de esta, así como a los productos finales para determinar el valor comercial de estos.
- Contemplar el establecimiento de una línea de producción adicional en la planta para procesar en épocas de producción baja de cacao productos como musáceas y raíces para la producción de harinas.

- Realizar un estudio técnico y financiero para determinar la viabilidad de establecer una planta como la presentada en el anteproyecto.
- Puesto que el secador de la empresa ION representa la principal alternativa para el secado artificial de cacao en el cantón de Upala, se debe analizar si las condiciones mediante las cuales se realiza este proceso son adecuadas. En caso de que no lo sean, contemplar un rediseño de este, principalmente relacionado con el sistema de distribución y recirculación del flujo de aire del equipo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Afoakwa, E., Quao, J., Takrama, F., Budu, A., Saalia, F. (2012). Changes in total polyphenols, o-diphenols and anthocyanin concentrations during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. [Versión electrónica]. *International Journal Food Research Journal* 19 (3): 1071-1077
- Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M., Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. [Versión electrónica] *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48: 840-857
- Alfaro, J.D. (1998). *Efecto del método de secado, la temperatura y el caudal de aire, sobre el proceso de secado en cacao*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Anvoh, K., Zoro Bi, A., Gnakri, D. (2009). Production and characterization of juice from mucilage of cocoa beans and its transformation into marmalade. [Versión electrónica] *Pakistan Journal of Nutrition* 8(2): 129-133
- Asociación Cámara de Cacao Fino de Costa Rica. (2012). *Análisis del desempeño de la cadena productiva del cacao en Costa Rica*. Extraído el 15 de mayo del 2013 desde http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19_2012_Analisis_de_la_Cadena_Productiva_del_Cacao_en_Costa_Rica.pdf
- Arias, C. (2008). *Perfil de producto cacao*. Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica, PROCOMER. Extraído el 13 de Enero del 2012 desde http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19_Perfil_de_cacao.pdf
- Arista, E., Malespín, A. (2012). *Comunicación oral*. Presidente y Vice-Presidente de la Asociación de Pequeños Productores de Cacao de Upala.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (2009). *Manual de oportunidades: Oferta de cacao amigable con la biodiversidad de Costa Rica*. Extraído el 2 de Enero del 2012 desde <http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/fasc%C3%ADculo%20ix%20-%20costa%20rica.pdf>

- Castro, E. (2008, octubre). Agrocadena Cacao Orgánico. En: *Taller Proyecto Promes (Promoviendo Mercados Sostenibles)*. San Carlos, Costa Rica. Extraído el 2 de Enero del 2012 desde <http://www.proyectopromes.org/userfiles/Memoria%20Cacao%20Org%C3%A1nico.pdf>
- Castillo, M., Hernández, M., García, R., González, M., Espinosa, B., Solís, J., Durán, C. (2010). Reaprovechamiento integral de residuos agroindustriales: cáscara y pulpa de cacao para la producción de pectinas. [Versión electrónica]. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 1(2):45-66
- Cubero, E. (1990). *Indicadores químicos de la calidad del grano seco de cacao (Theobroma cacao L.) y su aplicación*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Tecnología de Alimentos, Carrera Interdisciplinaria en Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
- Curtis, B. (1987). *Cacao. Guía del comerciante*. Centro de Comercio Internacional UNCTAD/GATT. Suiza.
- Contreras, C., Ortiz, L., Graziani, L. Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. [Versión electrónica]. *Agronomía Tropical* 54(2), 219-232.
- Council of Scientific and Industrial Research (C.S.I.R). (1976). The wealth on India. En Kalvatchez, Z., Garzaro, D., Guerra, F. *Theobroma cacao L. Un nuevo enfoque para nutrición y salud*. [Versión electrónica]. *Agroalimentaria* 6, 23-25
- Enríquez, A. (2006, marzo). Línea base para la caracterización de la cadena productiva de cacao y diagnóstico de la cooperación entre actores. En: *Informe de consultoría para APROCACAO-CATIE*. Cortés, Honduras.
- Enríquez, A. (2004). *Cacao Orgánico. Guía para productores ecuatorianos*. Ecuador: CATIE.
- Enríquez, A. (1985). *Curso sobre el cultivo de cacao*. Costa Rica: CATIE.
- Fagunwa, A.O., Koya, O.A., Faborode, M.O. (2009). Development of an intermittent solar dryer for cocoa beans. [Versión electrónica] *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol. XI
- FAOSTAT, 2013. Información sobre cultivos: cacao. División de Estadística de la FAO

- Federación Nacional de Cacaoteros (2005). *Caracterización físico-química y beneficio del grano de cacao (Theobroma cacao L.) en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Flores, W. (2013, agosto). Nuevos enfoques agroindustriales a la producción de cacao para la obtención de productos de alto valor funcional. En: *IV Foro Centroamericano de Agroindustria*. Managua, Nicaragua
- Hernández, A. (1991). *Fermentación y secado de cacao en Rio Frío*. Centro de Investigaciones en Productos Naturales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Herrera, G. (2012). *Upala, la nueva oportunidad en el cultivo del cacao*. Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica.
- Hii, C.L., Law, C.L., Cloke, M. (2008). Modeling thin layer drying kinetics of cocoa beans during artificial and natural drying. [Versión electrónica]. School of engineering, Taylor's University College. *Journal of Engineering Science and Technology* 3(1), 1-10.
- Hii, C.L., Law, C.L., Cloke, M. (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. [Versión electrónica]. School of Chemical and Environmental Engineering, University of Nottingham. Malasya. *Journal of Food Engineering* 90(1), 191-198
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2003). *Norma Técnica Colombiana NTC 1252*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (1957). *Manual del curso de cacao*. Turrialba, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional, IMN. (1991). *Descripción preliminar del clima de Upala*. Departamento de Agrometeorología. San José, Costa Rica.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica, ITCR. (2008). *Atlas Digital de Costa Rica*. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Cartago, Costa Rica.
- Jaén, L., Foster, L. (2010). *Cadena Productiva de Cacao. Políticas y Acciones*. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, SEPSA. Extraído el 2 de Enero del 2012 desde http://www.infoagro.go.cr/SEPSA/documentacion/agrocadenas/Politica_cacao.pdf

- Jiménez, L. (1993). Posibilidades semi-industriales e industriales de los subproductos y desechos del tratamiento poscosecha del cacao. *Revista Ingeniería* 3 (3), 39-43.
- Kalvatchez, Z., Garzaro, D., Guerra, F. (1998). *Theobroma cacao* L. Un nuevo enfoque para nutrición y salud. [Versión electrónica]. *Agroalimentaria* 6, 23-25
- León, Y. (2007). *Caracterización de la cadena productiva de cacao y diagnóstico de la cooperación entre actores*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Extraído el 3 de Enero del 2012 desde <http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/informe%20final%20cadena%20productiva%20costa%20rica.pdf>
- Mechell, J.; Kniffen, B.; Lesikar, B.; Kingman, D.; Jaber, F.; Alexander, R.; Clayton, B. (2009). *Rainwater Harvesting: System Planning*. Texas Agrilife Extension Service. College Station, TX. Texas, Estados Unidos.
- Moreno, L.; Sánchez, J. (1989) *Beneficio del cacao*. Federación Hondureña de Investigación Agrícola. Cortés, Honduras.
- Nadurille, E. (2010). *Cacao: Cadena de Valores Costa Rica*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. Extraído el 4 de Enero del 2012 desde <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7712E/A7712E.PDF>
- Navia, A., Pazmiño, N. (2012). *Mejoramiento de las características sensoriales del cacao CCN51 a través de la adición de enzimas durante el proceso de fermentación*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Ingeniero de Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador.
- Navarro, L. (2011). *Recomendaciones para el diseño de infraestructura para plantas de acondicionamiento y empaque de productos hortofrutícolas de acuerdo a las principales normas nacionales y estadounidenses*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Nicholas, A. M. (2012). Drying cocoa characteristics of cocoa beans using an artificial dryer. [Versión electrónica]. Department of Mechanical Engineering, Auchi Politechnic, Auchi, Nigeria. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 7 (2), 194-197

- Nielsen, D. (2006). *The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations*. Department of Food Science, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark
- Nduku, M.C. (2009). Effect of drying temperature and drying air velocity on the drying rate and drying constant of cocoa beans. [Versión electrónica]. Michael Okpara University of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Umuahia, Nigeria. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol. XI
- Organización Internacional del Cacao (ICCO). (2011). Informe anual 2009/2010. Extraído el 12 de Enero del 2012 desde http://www.icco.org/pdf/An_report/Annual%20Report%20for%202009-2010%20-%20English-French-Spanish-Russian%20-%20final.pdf
- Padilla, F., Rincón, A., Bou-Rached, L. (2008). Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. [Versión electrónica]. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 58 (3), 303-308.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. (2001). *Antioxidants in food. Practical applications*. Inglaterra: Woodhead Publishing Limited.
- Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2011). Costa de Marfil se debilita como líder en el mercado mundial de cacao. Extraído el 3 de Enero del 2012 desde <http://www.procomer.com/contenido/articulos/costa-de-marfil-se-debilita-como-1%C3%ADder-en-mercado-mundial-de-cacao.html>
- Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2013). Crecimiento de la industria del chocolate en Turquía abre oportunidades para el cacao costarricense. Extraído el 15 de Junio del 2013 desde [http://www.procomer.com/contenido/search?page=2&search_Query=cacao&searchfields\[\]=title&searchfields\[\]=content](http://www.procomer.com/contenido/search?page=2&search_Query=cacao&searchfields[]=title&searchfields[]=content)
- Rohan, T. (1960). *El beneficiado del cacao*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Rosero, J. (2002). *La ventaja comparativa del cacao ecuatoriano*. Extraído el 10 de Enero del 2012 desde <http://www.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Competitividad/Estudios/ae20.pdf>

- Ruiz, M. (2012). *Análisis técnico y financiero para la instalación de una planta procesadora de cacao en la zona de Upala*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (2011). *Boletín estadístico agropecuario N°21*. Ministerio de Agricultura y Agronomía. Extraído el 13 de Enero del 2012 desde <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00292.pdf>
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). (2008). *Perfil del Proyecto de control de inundaciones Upala*. Región Huetar Norte, Área de Operaciones. Alajuela, Costa Rica.
- Soto, J.; Vargas, V. (1989). *Investigación de métodos de fermentación de cacao (Theobroma cacao L.) para pequeños agricultores en seis localidades de Costa Rica*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2003). Información de mercado sobre productos básicos. En Quintero, M., Díaz, K. El mercado mundial de cacao. [Versión electrónica]. *Agroalimentaria* 18, 47-59

ANEXOS



Higrotermometro



Balanza de humedad

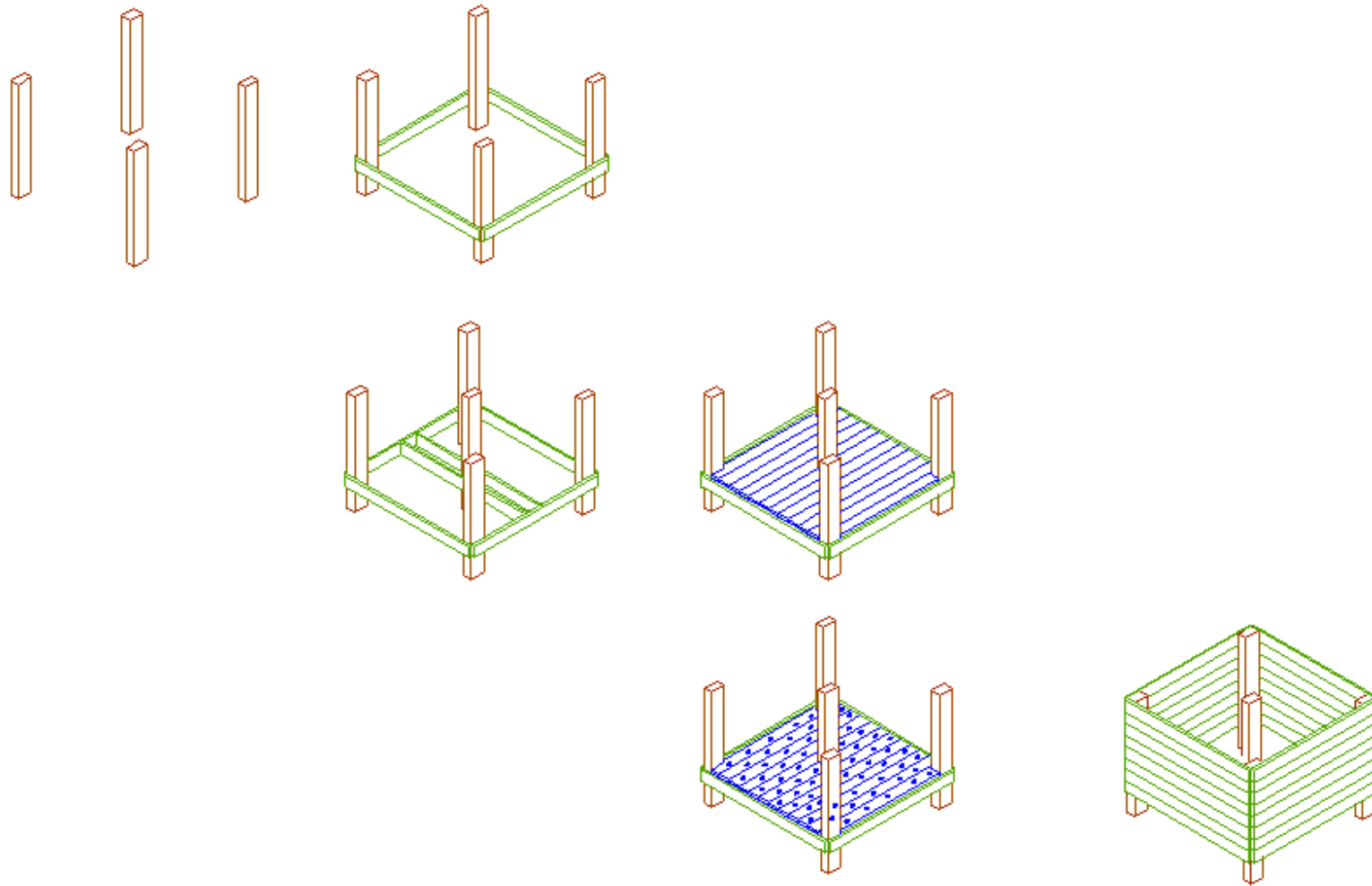


Balanza granataria

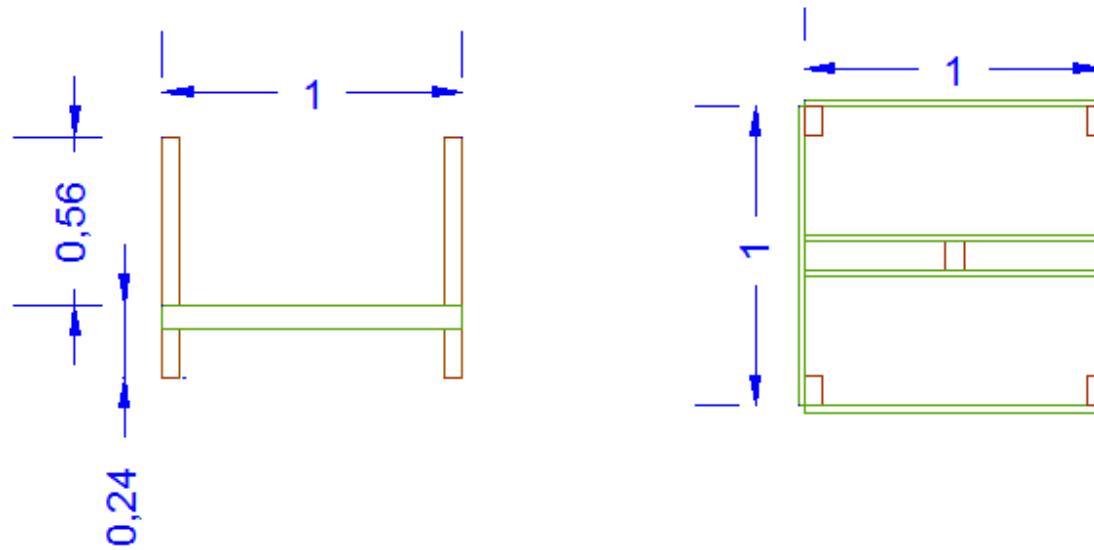


Deshidratador Excalibur

A.1 Equipo utilizado para realización de las pruebas preliminares para la obtención de los productos



A.2 Diseño del fermentador, dimensiones y lista de materiales



Descripcion	Cantidad
Reglas 2x3 pulg	4 m
Reglas 1x3 pulg	48 m
Tabla 1x10 pulg	4 m
Venilla	13 m

A.3 Diseño del fermentador perfiles y lista de materiales (cont)



A.4 Proceso de construcción del fermentador tipo cajón
(Diseño y construcción: Wilfredo Flores y Walter Soto)



Transporte de materia prima



Colocación del cacao en cajones



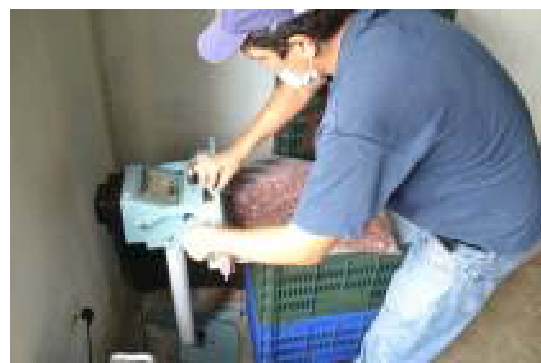
Fermentación del cacao



Preparación para secado



Empaque de producto seco



Sellado de empaques

Figura A.5 Proceso de fermentación y secado del cacao

Condiciones del proceso

Temperatura aire ambiente: ($T_a=31^\circ\text{C}$)

Temperatura de secado: ($T_s=60^\circ\text{C}$)

Contenido de humedad inicial ($H_0=55\%$)

Contenido de humedad de equilibrio ($H_e=7\%$)

Tiempo de secado ($t=24\text{horas}$)

Calor específico del aire ($c_p=0,24\text{kJ}/^\circ\text{C kg}$)

Densidad del grano de cacao seco ($480\text{kg}/\text{m}^3$)

La potencia del secador se determina mediante la siguiente relación:

$$q = \dot{m} * \Delta h$$

Donde:

q = potencia del secador (kJ/h)

m = flujo másico (kg/h)

Δh = cambio de entalpia (kJ/kg)

El flujo másico se encuentra dado por la siguiente relación:

$$\dot{m} = \frac{Q}{v} = \frac{h_{fg} * DM * (H_0 - H_e)}{C_p * (T_s - T_a) * t}$$

Donde:

Q = caudal del aire (m^3/h)

v = volumen específico del aire (m^3/kg)

DM = materia seca (kg)

h_{fg} = calor latente de vaporización (kJ/kg)

A.5 Cálculo de la potencia del secador

El flujo másico sería el siguiente:

$$\dot{m} = \frac{2428958(kJ/kg) * 480 * (1 - 0,07) * (0,55 - 0,07)kg}{0,24(kJ/kg^{\circ}C) * (60 - 31)^{\circ}C * 24h}$$
$$\dot{m} = 3113719 \frac{kg}{h}$$

La potencia del secador:

$$q = 3113719 \frac{kg}{h} * (126,61 - 93,4) \frac{kJ}{kg}$$
$$q = 94065450 \frac{kJ}{h}$$

A.5 Cálculo de la potencia del secador (cont.)