

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

Cámara de fermentación de semilla de cacao en condiciones controladas para economía familiar

Paula Andrea Cesarino Vargas, Sándaly Frineth Ochoa Sanabria

Trabajo de Grado para Optar el título de Diseñador Industrial

Directora

María Fernanda Maradei García

Doctora en Ingeniería en la línea de ergonomía

Codirector

Javier Mauricio Castellanos Olarte

Doctor en Ciencias Agrícolas Orgánicas

Universidad industrial de santander

Facultad de ingenierías fisicomecánicas

Escuela de diseño industrial

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

Esta tesis la queremos dedicar a la memoria de Fabiola María Sanabria Mora, madre de Sándaly

Frineth Ochoa Sanabria, quien hoy nos acompaña a celebrar este triunfo desde el cielo.

*Mi Chu, con tu ejemplo me mantuviste soñando cuando quise rendirme, gracias por
amarme, pero sobre todo, por siempre impulsarme a volar muy alto. Te lo dedico a ti porque te*

pertenece, te amo.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, por permitirnos hoy cumplir con este sueño, también a nuestros padres y especialmente a nuestras madres, quienes nos dieron el mayor y mejor legado, la educación. Y por quienes hoy, gracias a su dedicación, esfuerzo y amor, obtenemos este título. Igualmente, agradecemos infinitamente a nuestros familiares y hermanos quienes fueron un pilar fundamental y un gran apoyo durante toda nuestra formación profesional.

De igual forma, queremos manifestar nuestra gratitud a la Universidad Industrial de Santander, que nos brindó las herramientas académicas para convertirnos en profesionales integrales. A nuestros compañeros y profesores, especialmente a nuestra Directora de Tesis, la profesora Maria Fernanda Maradei Gracia quien nos guió y apoyó durante este largo proceso y gracias a sus consejos y correcciones hoy logramos culminar este trabajo junto con nuestro codirector, el profesor Javier Mauricio Castellanos Olarte.

Finalmente, agradecemos inmensamente a todas aquellas personas que participaron directa o indirectamente en la realización de este proyecto, por extender sus manos en momentos difíciles y por todo el apoyo y amor brindado. A quienes estuvieron atentos durante todo este proceso, con una palabra de aliento, una llamada, o gestiones que hoy nos permiten estar aquí. También a aquellas personas que hoy están presentes o ausentes, pero son y fueron personas insuperables en nuestras vidas.

A todos los que nos brindaron su apoyo hasta el día de hoy, ¡gracias!.

Tabla de Contenido

Introducción	1
1. Planteamiento del problema	5
2. Justificación	8
2.1 Pregunta de diseño.....	10
3. Objetivos.....	11
3.1 Objetivo general	11
3.2 Objetivos específicos.....	11
4. Marco teórico.....	12
4.1 Marco de referencia conceptual.....	12
4.1.1 El cacao en Colombia.....	12
4.1.2 Cadenas de cacao.....	12
4.1.3 Importancia de la etapa de fermentación.....	14
4.1.3.1 <i>Tiempos de fermentación</i>	15
4.2 Calidad del grano de cacao.....	17
4.3 Cómo medir la calidad del grano de cacao.....	20
4.4 Factores que influyen en la fermentación.....	21
5. Metodología.....	23
5.1 Fase 1. Conocer	26
5.1.1 <i>Diagnóstico general del proceso de fermentación</i>	26

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

5.1.2.1 Identificación de secuencia del proceso.....	31
5.1.2.1.1 Cosecha.....	32
5.1.2.1.2 Apertura de las mazorcas	32
5.1.2.1.3 Fermentación	33
5.1.2.1.4 Secado	33
5.1.3 Identificación de factores controlables.....	333
5.1.3.1 Temperatura	333
5.1.3.2 Remoción o volteo.	344
5.1.3.3 El pH.....	344
5.1.4 Variables relacionadas con el producto.....	35
5.1.4.1 Producción nacional.....	35
5.1.4.2 Servicios básicos disponibles	35
5.2 Fase II. Desarrollo del concepto.....	366
5.2.1 Revisión tecnológica de lo existente	366
5.2.1.1 Métodos de fermentación.....	377
5.2.2 Requerimientos de diseño según la experiencia de usuario	41
5.2.3 Requerimientos y parámetros de diseño.....	41
5.2.4 Generación de alternativas	433
5.2.4.1 Bocetos.....	433

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

5.2.4.2	<i>Selección de bocetos</i>	455
5.2.4.3	<i>Bocetos CAD</i>	477
5.3	Fase III. Verificación.....	499
5.3.1	Realización de planos técnicos y especificaciones.....	50
5.3.1.1	<i>Realización de maqueta</i>	50
5.3.1.2	<i>Verificación de la maqueta</i>	50
5.3.2	Modelado CAD.....	52
5.3.2.1	<i>Mecanismos</i>	52
5.3.2.1.1	<i>Yugo escocés</i>	52
5.3.2.1.2	<i>Mecanismo para el bloqueo de lixiviados</i>	533
5.3.2.2	Indicadores.....	544
5.3.2.2.1	<i>Temperatura</i>	544
5.3.2.2.2	<i>Volteo</i>	555
5.3.2.2.2.1	<i>Alarma</i>	555
5.3.3	Materiales.....	566
5.3.4	Ergonomía.....	577
5.3.4.1	<i>Ergonomía del agarre de la mano</i>	577
5.3.4.1.1	<i>El mango</i>	577
5.3.4.1.2	<i>Empuñadura</i>	588
5.3.4.2	<i>Sistema de cargue/descargue</i>	588

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

6 Verificación.....	60
6.1 Materia prima.....	60
6.1 Procedimientos analíticos.	61
6.1.1 Temperatura.	61
6.1.2 pH.....	61
6.2 Procedimientos analíticos	61
6.2.1 Resultados.....	61
6.2.1.1 <i>Relacionados con la Temperatura</i>	61
6.2.1.2 <i>Relacionados con el Ph</i>	633
6.2.1.3 <i>Comparación de resultados</i>	64
7 Concepto final	677
7.1 Ficha técnica.....	677
7.2 Costos de fabricación.	677
7.3 Diagrama funcional	71
7.4 Diagrama de usuario.....	72
8 Conclusiones.....	72
8.1 Limitaciones	755
8.2 Recomendaciones	755
Referencias Bibliográficas.....	766

Lista de Tablas

Tabla 1. Evaluaciones agropecuarias municipales – Betulia.	9
Tabla 2. Clasificación y características de los granos de cacao fermentados.	18
Tabla 3. Cuadro de calidad para cacao calidad A y B.....	20
Tabla 4. Descripción de actividades.....	23
Tabla 5. Temperatura de la masa de cacao y el ambiente durante la fermentación del prototipo funcional.	62
Tabla 6. Variación del pH de los granos de cacao durante la fermentación.	63
Tabla 7 Protocolo de fermentación	64
Tabla 8 Comparación de resultados	65
Tabla 9. Costos de producción del dispositivo.....	688

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso de producción del cacao (cosecha, fermentación y secado).	4
Figura 2. Tiempo de fermentación días/departamento.	16
Figura 3. Variables del proceso de fermentación.....	16
Figura 4 Diagrama de tareas y resultados para los objetivos 1 y 2.....	26
Figura 5. Cacaocultor de la zona iniciando el proceso de apertura de las mazorcas.	27
Figura 6. Apertura de mazorcas y disposición de granos.	28
Figura 7. Expulsión del mucílago y disposición en cajas de fermentación.	28
Figura 8. Color interno de los granos sin fermentar.	29
Figura 9. Cajones de fermentación.	30
Figura 10. Herramientas para el volteo.....	30
Figura 11. Cajones de fermentación en escalera.....	31
Figura 12. Diagrama de tareas y resultados para el objetivo 3.	366
Figura 13 Fermentación en sacos.....	377
Figura 14. Fermentación en montón.	377
Figura 15. Fermentación en cajón.....	388
Figura 16. Fermentación en tambor rotatorio.	399

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

Figura 17. Fermentación en bandejas tipo Rohan.....	399
Figura18. Fermentación en tambor rotatorio hexagonal.....	40
Figura 19. Requerimientos de diseño.....	42
Figura 20. Alternativa #1	433
Figura 21. Alternativa #2	444
Figura 22. Alternativa #3.....	444
Figura 23. Alternativa #4.....	455
Figura 24. Alternativa #5.....	455
Figura 25. Matriz QFD para selección del concepto.	466
Figura 26. Boceto técnico #1.....	477
Figura 27. Boceto técnico #2.	488
Figura 28. Boceto técnico #3.	488
Figura 29. Boceto técnico #4.	499
Figura 30. Diagrama de tareas y resultados para el objetivo 4.	499
Figura 31. Malla receptora. Primera verificación.	50
Figura 32. Malla receptora. Segunda verificación.	51
Figura 33. Malla receptora. Tercera verificación.....	51

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

Figura 34. Malla receptora. Cuarta verificación.	52
Figura 35. Mecanismo yugo escocés	53
Figura 36. Rejilla de lixiviados.....	53
Figura 37. Termómetro	54
Figura 38. Arduino Uno R3 Kit of the starter kit.....	55
Figura 39. Matriz QFD para selección de material.....	56
Figura 40. Ejemplos de posturas adecuadas	58
Figura 41. Sistema de cargue/descargue del mecanismo.....	59
Figura 42. Peso teórico en función de la zona de manipulación.....	59
Figura 43. Prototipo final.....	60
Figura 44. Ficha técnica del prototipo final.	67
Figura 45. Diagrama de uso del prototipo final	71
Figura 46. Situación de uso del prototipo final.....	72

CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE CACAO

Lista de Apéndices

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la
Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Tomas de temperatura

Apéndice B. Video explicativo

Resumen

Título: Cámara de fermentación de semilla de cacao en condiciones controladas para economía familiar¹

Autores: Paula Andrea Cesarino Vargas, Sándaly Frineth Ochoa Sanabria²

Palabras clave: Ph, color, microorganismos, theobrama cacao.

Descripción:

En la producción y elaboración de cacao, juega un papel muy importante el proceso de fermentación; influye en la calidad y clasificación en términos de color y aroma. Santander es el primer productor a nivel nacional, además posee una amplia tradición como productor de cacao fino de aroma. En el municipio de Betulia Santander predomina el productor a nivel de escala familiar, esto genera un limitante tecnológico y técnico en el proceso adecuado de fermentación, ya que las tecnologías desarrolladas están orientada a la producción a gran escala.

Por esto, se desarrolló una cámara de fermentación, que ofrece la posibilidad de controlar las variables más relevantes como la temperatura, el pH y el volteo de los granos, mediante una metodología de investigación que cuenta con 3 fases. La primera, conocer, donde se se identifican las condiciones actuales del proceso y el análisis de aquellas variables relevantes en términos de calidad. Postertientemente, la fase de desarrollo de concepto evaluó las propuestas para la tecnificación del proceso para escala familiar. Finalemte, la fase de verficiación, comparó los granos obtenidos mediante la forma tradicional (en baldes) y el grano fermentado bajo condiciones controladas.

Al finalizar, se evidenció que el dispositivo iguala las condiciones en términos de temperatura y pH de las cajas de producción a gran escala. Lo que conlleva a que el productor a pequeña escala pueda fermentar entre 12 kg y 50 kg, cumpliendo con los parámetros de alta calidad que la fermentación en baldes no cumple.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Directora: María Fernanda Maradei García. Codirector: Javier Mauricio Castellanos Olarte

Abstract

Title: Chamber seed fermentation chamber in controlled conditions for family economy³

Autors: Paula Andrea Cesarino Vargas, Sándaly Frineth Ochoa Sanabria⁴

Keywords: Ph, color, microorganismos, theobroma cacao.

Description:

In the production and processing of cocoa, the fermentation process plays a very important role; It influences the quality and classification in terms of color and aroma. Santander is the first producer nationwide, also has a long tradition as a producer of fine aroma cocoa. In the municipality of Betulia Santander, the producer predominates at the family level, this generates a technological and technical limitation in the appropriate fermentation process, since the developed technologies are oriented to large-scale production.

For this reason, a fermentation chamber was developed, which offers the possibility of controlling the most relevant variables such as temperature, pH and grain rotation, through a research methodology that has 3 phases. The first, to know, where the current conditions of the process are identified and the analysis of those relevant variables in terms of quality. Subsequently, the concept development phase evaluated the proposals for the technification of the family-scale process. Finally, the verification phase, compared the grains obtained by the traditional way (in buckets) and the fermented grain under controlled conditions.

Upon completion, it was shown that the device matches the conditions in terms of temperature and pH of the large-scale production boxes. This means that the small-scale producer can ferment between 12 kg and 50 kg, complying with the high quality parameters that fermentation in buckets does not meet.

³ Bachelor thesis

⁴ Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Industrial Design. Director: Maria Fernanda Maradei García. Codirector: Javier Mauricio Castellanos Olarte

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao*) es un árbol, cuyo fruto lleva su mismo nombre; esta planta registra sus antecedentes en la cuenca del Amazonas, por lo que se le atribuye un origen americano. Sin embargo, la mayor producción se encuentra en otros continentes, al poseer condiciones más favorables para el cultivo. A pesar de que África es el continente de mayor producción, en Colombia el cacao se constituye como un producto distintivo, debido a las cualidades aromáticas dadas por las características de los terrenos y del clima principalmente. (Mojica Pimiento & Paredes Vega, 2006).

El cacao es cultivado a lo largo de todo el país, sin embargo, el 60.1% de la producción nacional se concentra en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Arauca y Antioquia. Santander, es el mayor productor del país, concentrando el 28.5% de la producción nacional, con una producción de 22.117 toneladas reflejadas el año 2016 y manteniendo esta posición por diez años consecutivos. (FEDECACAO, 2017).

Estudios previos, han señalado que aproximadamente el 78,3% de las explotaciones de cacao del país, poseen tecnologías de producción baja, el 22.9% las poseen con nivel medio y menos del 1%, son de nivel alto (Espinal G, Martínez C, & Peña M, 2005). Asimismo, se ha identificado que el manejo de todo el proceso de cosecha, fermentación y secado de los granos de cacao, es de tipo artesanal y no se ha contemplado intervenciones en desarrollo tecnológico, para producciones a escala familiar (Sánchez Vargas, Castellanos Domínguez, & Domínguez Martínez, 2008).

Las explotaciones de cacao del país como producción empresarial, son realizadas tradicionalmente y de economía campesina, donde la elaboración del producto se realiza con mano de obra directa en cada uno de los pasos (Espinal G et al., 2005). De acuerdo con la Organización

de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, FIDA, & PMA, 2013), gracias a los cultivos de economías de agricultura familiar y a pequeña escala, se estimula la producción y desarrollo de la economía local y regional (Pabón, Herrera-Roa, & Sepulveda, 2016). Por tanto, impulsar este tipo de economía favorece no solo al desarrollo regional, sino también al campesino. Se conoce que el crecimiento de la producción de cacao en el 2013, fue de alrededor del 26%, es decir que es un importante generador de empleo permanente en las zonas rurales. (Rojas & Sacristan Sanches, 2013).

Ahora bien, el proceso de producción de cacao comprende varias etapas mostradas en la Figura 1. Se inicia con el proceso de cosecha, en el cual es primordial recolectar únicamente aquellas mazorcas que se encuentran maduras y en estado óptimo, para llevar al proceso de fermentación, generalmente las plantaciones pequeñas requieren de una recolección cada dos a tres semanas. La segunda etapa es la partida de mazorcas, donde se disponen las mazorcas seleccionadas después de una separación de aquellas dañadas o que no cumplen con el nivel de madurez. El corte se realiza de diversas formas: un corte transversal o sagital realizado con un machete, o con un golpe al centro con un mazo de madera. Posteriormente se realiza el desgranado o “desengullado” que consiste en deslizar la mano a través de la mazorca previamente cortada, separando las semillas de la placenta o vena central. La etapa de fermentación es el paso fundamental en el beneficio del cacao, ya que este influye en la calidad final del grano. Por último, en la etapa de la producción de cacao, se encuentra el secado, que es realizado comúnmente bajo el sol, ya que, sin otro tipo de tecnología, la luz solar genera las condiciones más favorables para la realización de esta etapa. (Pinzón Useche, Rojas Ardila, Cacaoteros, & PRONATTA, 1998).

Es en la fermentación, donde se inicia el proceso que permite que el cacao tenga un excelente aroma, sabor y color; razón por la cual la calidad del grano fermentado influye en la

calidad del grano secado. Para lograrlo, es necesario realizar cada una de las etapas del proceso de manera controlada: la cosecha, acción microbiana, temperatura y remoción (Lambert, 2010). Actualmente el proceso es desarrollado de manera artesanal.

Actualmente, los cacaocultores trabajan diferentes volúmenes de cacao y cuando el promedio de cacao fresco listo para fermentar es inferior a 250 Kg, los campesinos utilizan sistemas rudimentarios, como recipientes plásticos, que se constituyen en un sistema alternativo a las cajas rectangulares entregadas por Corpoica. Estos recipientes, les permiten a los cacaocultores con producciones de escala familiar desarrollar su actividad, sin embargo, no existen ningún control de variables que garanticen un grano de cacao fermentado de buena calidad, afectando la calidad del grano final. Así, debido a que el pequeño campesino de escala familiar debe usar sistemas rudimentarios para desarrollar su actividad, el precio percibido por la venta del grado fermentado y luego secado, es bajo. Un estudio sobre la cadena de valor de cacao mostró que solo el 5% del precio final llega al campesino (Ríos, Ruiz, Lecaro, & Rehpani, 2017).

Con base en lo anterior, este trabajo de grado plantea dar solución a la baja tecnificación presente en la producción de cacao, específicamente en el proceso de fermentación. El proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad del grano fermentado, al controlar factores primordiales que pueden ser intervenidos, como el control de temperatura y la remoción de los granos durante dicho proceso, dirigido a economías de agricultura de escala familiar. Se espera realizar una contribución social y comercial para el mejoramiento de la competitividad en el pequeño campesino.

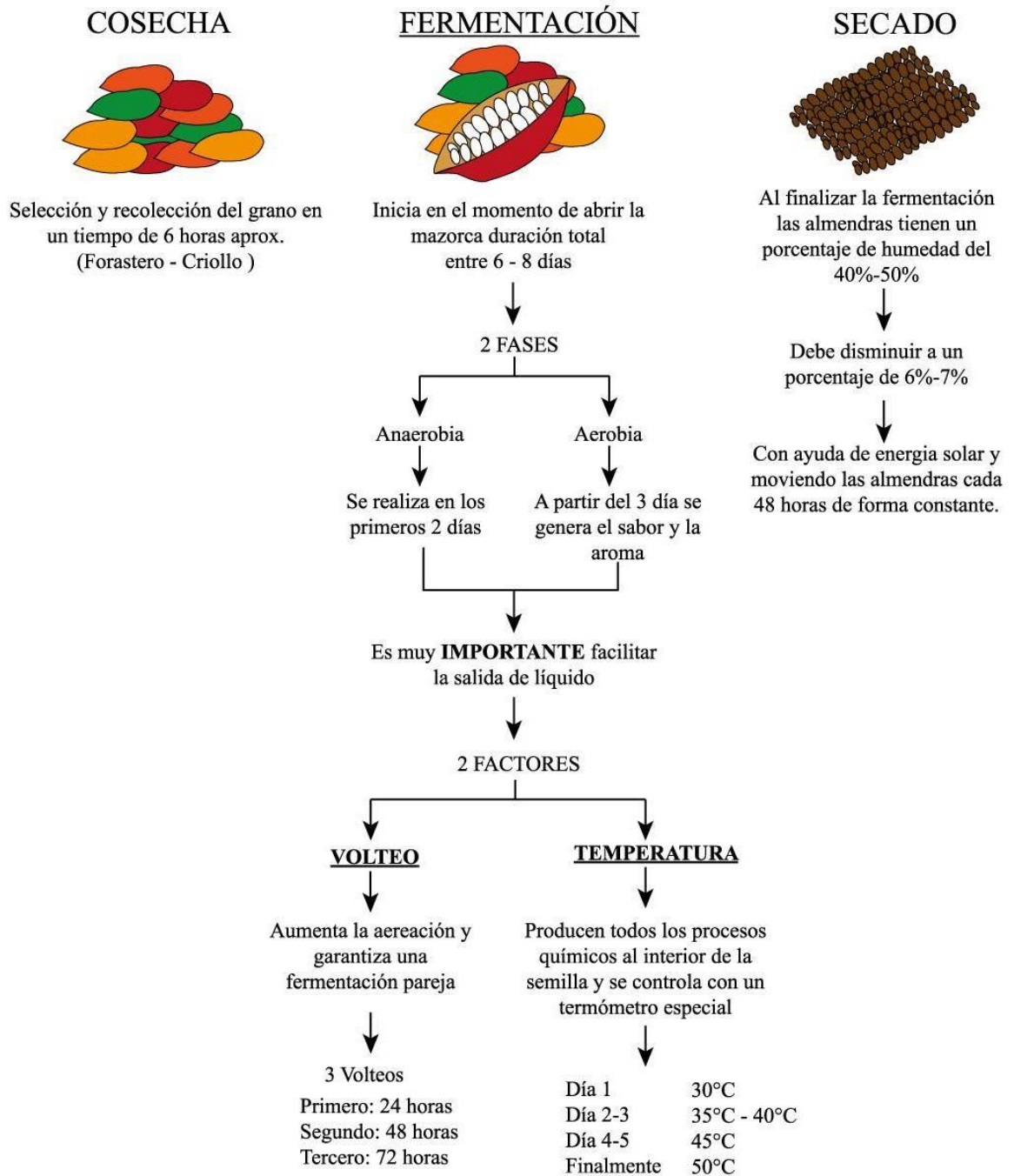


Figura 1. Proceso de producción del cacao (cosecha, fermentación y secado).

1. Planteamiento del problema

Según los resultados registrados por el ministerio de agricultura y desarrollo rural de Colombia para el año 2013 (Lizarralde, 2014), se encontró que el crecimiento para los cultivos permanentes fue del 3.1%, justificados mediante el crecimiento de cultivos como café, palma de aceite, yuca y cacao con un 4.3% del volumen del área agrícola total cultivada. El cultivo de cacao se encuentra presente en la mayoría de regiones de la nación, sin embargo, una gran concentración de dichos cultivos se encuentra ubicada en el departamento de Santander, que es el principal productor de cacao, con una participación aproximada del 35 % de la producción total nacional (SIOC, 2016).

El cacao colombiano es reconocido por ser fino en aroma, representando el 5% de la producción mundial, esta característica evidencia, una oportunidad para competir con valor agregado y aumentar los ingresos de los pequeños productores (Osorio Guarín et al., 2017). Según datos de la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (FEDECACAO) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2006) en el departamento de Santander se encuentra cerca del 50% de las unidades productivas y, por tanto, el cultivo de cacao tiene gran importancia social (Oliveros & Pérez, 2013).

La producción del cacao genera cerca de 52.000 empleos, es decir, representa 2.8% del empleo de cultivos permanentes en Colombia. La industria transformadora del grano requiere la totalidad de la producción y generalmente asegura la compra total de la cosecha. Con relación a lo anterior, la mano de obra para la producción del grano es en su mayoría desarrollada por economías familiares, es por esto que existe una relación directa con el beneficio económico para los

cultivadores de las diversas regiones, ya que de cierta manera representa un ingreso garantizado. (Oliveros & Pérez, 2013).

En nuestro departamento existe una problemática con respecto al déficit en desarrollo tecnológico; “Los productores de cacao de Santander se caracterizan por una amplia tradición en el cultivo; predomina el pequeño y mediano productor, de economía campesina con escasos recursos, especialmente de capital e infraestructura para la producción. La edad de los agricultores es relativamente alta, 47 años en promedio, con bajo nivel de escolaridad que va desde primaria incompleta a completo, con excepción del municipio de Landázuri donde el 18% de los cultivadores encuestados es analfabeto; características que deben ser consideradas en los procesos de transferencia de tecnología y asistencia técnica” (Mantilla Blanco, J. Arguello Angulo, A. L. Méndez Aldana, 2000). Así mismo, un estudio del MADR determina que el 77% de los productores de cacao, no son adaptadores de nuevas tecnologías, es decir, que se encuentran en un nivel bajo, debido a que perciben en la implementación de nuevas tecnologías: incertidumbre, riesgo y una inversión no justificada para mejorar sus cosechas (Torres M. & Rodríguez B., 2015).

En la práctica tradicional, es común observar la variación de la temperatura y del volteo de los granos, la diferencia en la cantidad total que se fermenta, la manipulación inadecuada del producto y la mezcla de granos con diferentes tiempos de fermentación que produce, generalmente, un grano de cacao fermentado altamente heterogéneo, con un pH inadecuado y con presencia de contaminantes e incluso micotoxinas que disminuyen la calidad global de los granos destinados a la producción de alimentos. (Nielsen et al., 2007). Así, la fermentación y el secado, que forman parte del proceso de transformación de la semilla de cacao, son realizados con un mínimo control de calidad, de manera tradicional y rudimentaria, como resultado se tiene un producto de baja calidad y de poca capacidad competitiva que limita la participación del cultivador en un mercado.

Para resolver esta problemática, es fundamental desarrollar sistemas de estandarización y regulación de los procesos de transformación del grano de cacao, que puedan ser aplicados a nivel de finca, donde se aproveche el potencial de calidad del recurso genético y se reduzca la variabilidad en la calidad del producto final.

Este trabajo de grado, se enmarcó en un proyecto de investigación con financiación interna, denominado, “Alternativas de tecnificación en las etapas de cosecha y postcosecha de Cacao de escala de economía familiar, como alternativa para la sustitución de cultivos ilícitos. Caso de estudio Comunidad San Bernardo del municipio de Betulia, Santander”, que busca promover el potencial del cultivo de cacao a pequeña escala, como alternativa de desarrollo rural sostenible, además de fomentar la transformación y modernización de los procesos productivos de los campesinos, con la intención de diversificar la producción rural, generar oportunidades en el mercado mejorando los ingresos y atender a poblaciones vulnerables.

Como se ha mencionado repetidamente, Santander cuenta con el reconocimiento de ser el departamento de mayor producción a nivel nacional, de la mano de esto, encontramos también su clasificación dentro del área de fino aroma. Sin embargo, en el proceso de fermentación en las regiones aledañas al departamento de Santander, “La gente no tiene la cultura de fermentar el cacao”, este es el título de un artículo de Fedecacao publicado el 15 de diciembre de 2015, en donde expresa que en San Vicente de Chucurí secar y fermentar el cacao en las calles se ha convertido en algo cotidiano. Pero lo que pocos saben, es que esto hace que la calidad del producto disminuya, o incluso se pierda por el grado de contaminación que puede adquirir. Igualmente, también suele presentarse una sobre fermentación.

Por otra parte, una publicación reciente en “Comunicaciones Fedecacao”, evidenció el creciente interés de inversores extranjeros de diversos países, hacia la producción del grano en

nuestra región. El documento expresó que “Se trata de empresarios chocolateros interesados en la materia prima colombiana, que se caracteriza por ser un producto fino de sabor y aroma, reconocido por la Organización Internacional del Cacao (ICCO) y cuya condición, sólo la posee el 5% de la producción mundial”. Debido a este creciente interés, Eduard Baquero López, presidente ejecutivo de la federación, expresó que los cacaoteros colombianos, han empezado a mejorar la calidad de sus productos, ya que este gremio está dispuesto a invertir en su compra, incluso a un precio por encima del mercado, siempre y cuando se cumplan con los estándares de alta calidad exigidos por el comprador (Comunicaciones Fedecacao, 2018).

Sin embargo, es necesario resaltar que, en Colombia, debido al déficit de tecnología que el campesino puede adquirir, el proceso a escala familiar se realiza tradicionalmente en cajones (de madera y de cemento) y barriles, en algunos casos cuando la cantidad de mazorcas de cacao cosechadas no es suficientemente grande, puede llevarse al uso de barriles o pequeños recipientes plásticos, sin ningún tipo de control de las variables necesarias para una buena fermentación. Esto ratifica el hecho de que los productores no miden las variables del proceso como temperatura, pH y grado de fermentación para determinar la calidad de su producción.

2. Justificación

Colombia no es ni el mayor ni mejor productor de cacao, sin embargo, no está exento de llegar a serlo, así lo plasma EL FRENTE en su artículo publicado en octubre de 2016. Explicando que a pesar de que hay alrededor de cinco mil familias cultivadoras de cacao en San Vicente de Chucurí y el Carmen de Chucurí, sólo se exporta en la actualidad el 10% de lo producido y lo comercializado en el exterior, es cacao en grano sin ningún valor agregado.

Según la ICCO (International Cacao Organization), el 95% del cacao colombiano es considerado cacao fino de sabor y aroma, pero para conservar la clasificación juega un papel muy importante el productor, ya que solo se puede exportar aquel que tenga un buen proceso de fermentación.

El estudio de Peña mostrado en la tabla 1, es el resultado de un análisis realizado a pequeños campesinos de la región de Betulia que produce entre 300 y 400 kilos de cacao (Tabla 1) (Arévalo Peña, 2017). Betulia, es una pequeña región cultivadora de cacao, que presenta un rendimiento del 0.8 a nivel regional (“Cadena Productiva Cacao - Área, Producción Y Rendimiento,” 2017). Sin embargo, a partir del año 2011 ha presentado un descenso de manera progresiva en su producción tanto en el área cosechada, sembrada y producida, como se muestra en la tabla 1 (Agronet, 2017).

Tabla 1. *Evaluaciones agropecuarias municipales – Betulia.*

Año	Municipio	Area Cos. (has)	Area Sem. (has)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/has)
2007	BETULIA	346	571	242	0,7
2008		520	565	365	0,7
2009		520	653	466	0,9
2010		603	662	569	0,94
2011		652	666	509	0,78
2012		450	450	423	0,94
2013		450	450	360	0,8
2014		440	460	352	0,8
2015		450	480	360	0,8
2015		450	470	360	0,8

Adaptado de: Evaluaciones agropecuarias municipales – EVA- Oficina de planeación y prospectiva MADR, 2016.

Por tanto, las características económicas de las cosechas, los beneficios sociales, la posibilidad de su manipulación a nivel de economía familiar, el fácil mercadeo y otros factores, representan una oportunidad de desarrollo de la comunidad rural del país y del departamento.

Con base en lo anterior, el presidente ejecutivo de FEDECACAO, reconoce que no se puede ignorar que el gremio presentó una crisis en la disminución de producción y precio, más sin embargo, con granos de calidad, existe un mejoramiento de ingresos y oportunidades, como lo hizo evidente en una entrevista para “La opinión” en el año 2017, donde mencionó que “Con cultivos productivos y bien manejados se logra mitigar, en parte, los efectos de los menores precios del grano, ya que con una mayor productividad el cacaocultor recibe lo mismo o incluso más de lo que obtenía antes de renovar su plantación”, dijo el dirigente (“Producción de cacao impone nueva marca en Colombia,” 2017).

2.1 Pregunta de diseño

Según la información analizada, se encuentra en este sector una oportunidad de desarrollo social y tecnológico, mediante el control de los factores que afectan el correcto proceso, para generar un grano de mejor calidad en comparación a los granos fermentados mediante métodos tradicionales. A continuación, se establece la pregunta de diseño: ¿Cuál es la diferencia en términos de calidad del grano fermentado, entre el método tradicional y una cámara con condiciones controladas?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar una cámara de fermentación que mejore la calidad de los granos de cacao procesados a escala de economía familiar.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros en las condiciones de fermentación que afectan la calidad del grano de cacao.
- Analizar las variables más relevantes a tener en cuenta en términos de calidad del grano de cacao para realizar alternativas de solución.
- Evaluar las propuestas de diseño que permiten la tecnificación del proceso de fermentación del grano de cacao a escala de economía familiar.
- Comprobar la calidad del grano obtenido con la propuesta de diseño y con respecto a la realizada tradicionalmente.

4. Marco teórico

4.1 Marco de referencia conceptual

4.1.1 El cacao en Colombia. “El proceso de fermentación antes de ser una ciencia es un arte, para lo cual se requiere de mucha experiencia en esta labor, y así obtener excelentes resultados” (Maisincho, 2006).

El cacao colombiano cuenta con un reconocimiento representativo gracias a sus ventajas con respecto a las condiciones naturales para su producción, las características agroecológicas con respecto a clima y humedad. Así mismo una cantidad representativa de la producción nacional se encuentra catalogada como cacao de fino sabor y aroma. El cacao en grano se define como la materia prima de la industria confitera, para el desarrollo de productos como chocolate, cosméticos y el área farmacéutica.

Según Espinal G et al. (2005), en la cadena productora de chocolate intervienen 4 tipos de agentes: agricultores, acopiadores, exportadores y la industria procesadora. Por otra parte, el mercado internacional del cacao se encuentra regulado por la Organización Internacional del Cacao (ICCO) a donde pertenecen los principales exportadores e importadores del grano. De acuerdo al Convenio Internacional del Cacao de 2001, 39 países hacen parte de la organización. Colombia hizo parte de la asociación desde su inicio, en periodos como exportador e importador, sin embargo, en 1986 se retiró de la organización.

4.1.2 Cadenas de cacao. La cadena de cacao se divide en tres etapas. La primera etapa comprende la siembra, mantenimiento y cosecha del cacao. Dentro de esta etapa se encuentran

ubicados los agricultores, dueños de terrenos y productores de insumos. La segunda etapa abarca la comercialización y finalmente la etapa industrial que es la encargada del procesamiento de productos derivados del grano. Nuestro estudio se encuentra enmarcado en la etapa primaria.

El cacao se clasifica en dos grandes grupos: criollo y forastero. Sus plantas son cultivadas en arbustos, está definido como un cultivo permanente ya que su ciclo de duración es de casi cuarenta años. Los agricultores son los encargados de realizar las cosechas, realizar la separación de las mazorcas sanas para ponerlas en disposición para el proceso de desgranado. El siguiente paso consiste en el proceso de fermentación, es allí donde se desarrollan las cualidades del grano; existen diversos métodos de fermentación que varían en función del tiempo de proceso, entre 5 y 6 días. El proceso siguiente es el secado del grano, que busca disminuir el contenido de agua, acidez y astringencia, y al igual que en el proceso de fermentación, existen diversos métodos de secado (Espinal G et al., 2005).

Adicionalmente, se ha observado que el almacenamiento de las mazorcas de cacao por varios días, después de la cosecha, realza el sabor (Abdul Samah, Ibrahim, Alimon, & Abdul Karim, 1993). Esta demora en el desgrane favorece la hidrólisis de la pulpa y reduce la acidez del cacao, así mismo promueve bajos niveles de ácido láctico, ácidos volátiles y ácidos totales libres y un incremento de los taninos en el cotiledón (Torres M. & Rodríguez B., 2015). Al retardar el desgrane, la fermentación es acelerada debido a que la temperatura se incrementa más rápidamente, dependiendo de dicho incremento de tiempo de almacenamiento de la mazorca (Abdul Samah et al., 1993), de manera que los valores de la temperatura serán más altos a medida que aumenta el tiempo entre la cosecha y el desgrane del cacao.

4.1.3 Importancia de la etapa de fermentación. La etapa de fermentación es el paso primordial para beneficiar el cacao. Es en este proceso donde se desarrolla el sabor y aroma del producto y aporta en gran parte a un grano “hinchado”, con una coloración marrón adecuada y buena apariencia. Una correcta fermentación es la responsable de un cacao que, al convertirse en chocolate, es agradable al paladar y al olfato, por el contrario, si se realiza una mala fermentación, o la omisión de esta etapa, afecta notablemente el producto final. La fermentación, es un proceso complejo que conlleva una serie de cambios bioquímicos y físicos en todas las estructuras de la semilla, tanto la cascarilla, mucílago, el interior del cotiledón y en el embrión que debe morir y reabsorberse.

El proceso implica un ciclo de reacciones químicas, en las cuales, los azúcares dentro de la pulpa, se transforman en agua, alcohol y ácido acético, entre otras, debido a la acción de levaduras que son microorganismos anaeróbicos, que se encargan del desprendimiento de calor. En una segunda fase, mediante la intervención de microorganismos aeróbicos, sucede la oxidación de los polifenoles y cambios representativos en el pH.

Las transformaciones de las sustancias producen el sabor astringente del grano, es decir, los polifenoles, son indispensables ya que, si no son producidos, el grano se devalúa inmediatamente. Estas sustancias son las encargadas de dar la tonalidad violeta a la almendra, que, al pasar al grano seco, mantiene dicho color y es calificado negativamente durante la evaluación de calidad de la producción.

Así mismo, las sustancias producidas y la alta temperatura alcanzadas en el proceso de fermentación, de manera general, proporcionan a los granos las características correspondientes a las condiciones de calidad que son examinadas al momento de realizar la venta del producto, y en

caso dado, que estos aspectos no se cumplan, tendrán una disminución en el precio, o incluso, el rechazo total del producto por parte de los compradores. (Pinzón Useche et al., 1998).

Por último, Caros Alberto Contreras Pedraza recomienda en la cadena de valor del cacao en Colombia, que “la práctica ideal en este proceso es la medición de alguna variable para el control y gestión del proceso, como puede ser la temperatura, el pH, el grado de fermentación, u otras”. (Contreras Pedraza, 2017) ya que muchos cultivadores realizan el proceso en un tiempo establecido de 6 a 7 días y no tienen en cuenta diversas variables, como las condiciones agroecológicas, muy pocos realizan control de variables y muchos otros aspectos.

4.1.3.1 *Tiempos de fermentación.* Según un análisis realizado Carlos Alberto Contreras Pedraza, 2017 y analizando los resultados de su estudio (2017), el tiempo de la fermentación es primordial para la formación de los componentes responsables del aroma y sabor del chocolate. En esta etapa se identifican dos fases: anaeróbica (corresponde al tiempo de inicio del proceso hasta el primer volteo) y la aerobia (el tiempo total de la fermentación después del primer volteo).

Debido a la importancia del método, el autor realizó una consulta con respecto al tiempo de duración de cada fase (Figura 3 y 4). Cabe resaltar que la duración del proceso recomendado por la industria es de 6 días; sin embargo, la variación de estos valores está ligado a la variedad del cacao, el tamaño del grano y las condiciones agroclimáticas de la zona.

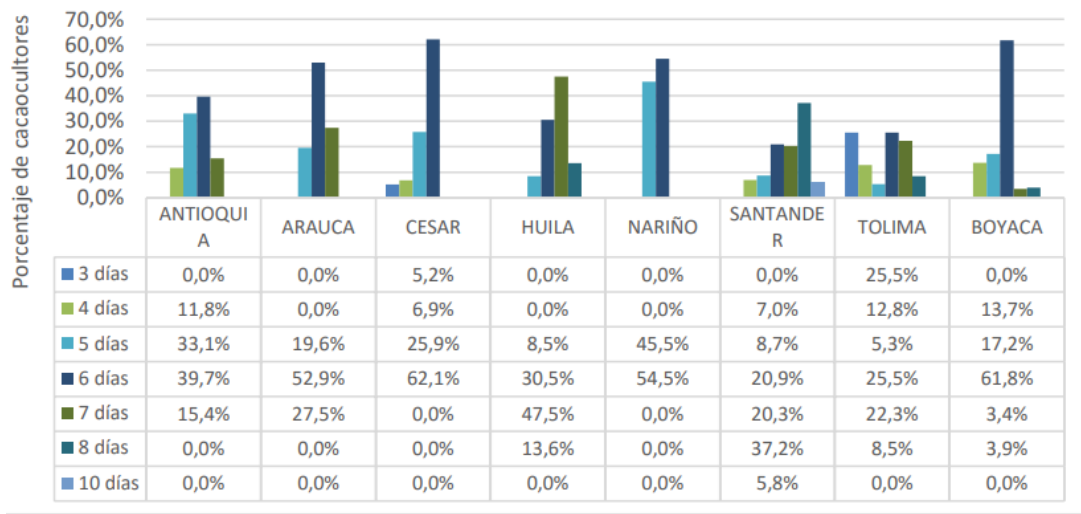


Figura 2. Tiempo de fermentación días/departamento.

Tiempo (h)	Variables del proceso de fermentación									
	Fase anaerobia			Fase aerobia				Frecuencia de aireación		
	12-24	24 - 48	48-96	48-84	84-120	120-156	156-192	12-24	24-36	>36
Porcentaje de cacaocultores	32,9%	57,0%	10,1%	31,3%	60,5%	6,8%	1,4%	7%	79%	14%
ANTIOQUIA	40,0%	40,0%	20,0%	40,0%	60,0%	0,0%	0,0%	88,0%	0,0%	12,0%
ARAUCA	23,5%	70,6%	5,9%	23,5%	70,6%	5,9%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
CESAR	72,7%	18,2%	9,1%	27,3%	72,7%	0,0%	0,0%	90,9%	0,0%	9,1%
HUILA	33,3%	66,7%	0,0%	0,0%	88,9%	0,0%	11,1%	100,0%	0,0%	0,0%
NARIÑO	0,0%	100,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	75,0%	25,0%	0,0%
SANTANDER	23,1%	53,8%	23,1%	15,4%	61,5%	19,2%	3,8%	69,2%	0,0%	30,8%
TOLIMA	75,0%	25,0%	0,0%	55,0%	35,0%	10,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
BOYACA	8,1%	86,5%	5,4%	37,8%	56,8%	5,4%	0,0%	37,8%	0,0%	62,2%

Figura 3. Variables del proceso de fermentación.

Fuente: Análisis de la cadena de valor del cacao en Colombia, 2017 (Contreras Pedraza, 2017).

Adicionalmente, el autor dentro del análisis encontró que, los productores que fueron sometidos a la entrevista, argumentaron que sus métodos siguen conocimientos tradicionales del proceso o recomendaciones que no cuenta con ningún fundamento técnico enfocado a la producción de un buen producto.

Así mismo, (Rodriguez-Campos, 2012) establece que el tiempo adecuado para la fermentación es de 6 días, ya que produce los compuestos volátiles necesarios y genera el sabor deseable en los granos. Durante los primeros 2 días se producen alcoholes, aldehídos y cetonas; entre los días 3 y 5 aparecen los alcoholes, ésteres y ácidos (acéticos). Para el autor las altas concentraciones de aldehídos y cetonas son aspectos favorables para la calidad del cacao.

Aprotosoai (2016) apoya la tesis anterior, ya que, en su explicación del proceso, menciona que la fase anaeróbica, desarrollada durante las primeras 24 a 36 horas después de la apertura de las mazorcas, trae consigo la ecología microbiana (Levaduras, bacterias y hongos). Una vez finalizado este lapso de tiempo, de las 48 a 96 horas siguientes, la actividad de la levadura se inhibe por la aireación, lo que genera un aumento en el pH que se traduce en el crecimiento de bacterias de ácido láctico que, a su vez, ocasiona procesos exotérmicos que calientan la masa entre 45° y 52°C, estas transformaciones químicas son las encargadas de producir los precursores del sabor del cacao.

4.2 Calidad del grano de cacao

Para Lemus (2015), el cacao representa una rama importante dentro del sector primario, que además es una materia prima valiosa para la industria mundial chocolatera. Entre los propósitos de los productores nacionales se encuentra aumentar la producción en búsqueda de la posibilidad de exportación, pero también la generación de un valor agregado de calidad para impulsar la agro industrialización (Clavijo Lemus & Ardila Saavedra, 2015).

Para la selección de granos de calidad, debe realizarse una selección previa, donde se eliminan impurezas. A continuación, se realiza una prueba de corte para efecto de clasificación,

que consiste en tomar una muestra de granos que son quebrados en forma longitudinal con una herramienta, de manera que queden dispuestos por mitades, haciendo posible la observación de las características que se juzgan de acuerdo con la norma de calidad existente.

En la siguiente tabla, se presentan las características evaluativas a tener en cuenta para juzgar un grano de calidad, correctamente fermentado.

Tabla 2. *Clasificación y características de los granos de cacao fermentados.*

CARACTERÍSTICAS DE LOS GRANOS DE CACAO DE ACUERDO CON SU GRADO DE FERMENTACIÓN Y BENEFICIO			
CARACTERÍSTICA DEL GRANO SECO	GRANO BIEN FERMENTADO	GRANO INSUFICIENTEMENTE FERMENTADO	GRANO SIN FERMENTAR
FORMA	Hinchado "Ciruela"	Relativamente aplanado "Plancho"	Aplanado en su mayoría
COLOR EXTERNO	Café oscuro, marrón "Carmelita"	Amarillo claro, amarillo rojizo	Blanquecino, Rojizo
TESTA CURÍCULA (CASCARILLA)	Se desprende fácilmente con los dedos, quebradiza se "desmigaja"	Desprende difícilmente con la uña	Casi no se desprende, fuertemente adherida

CONSISTENCIA	Fácilmente en harinas al presionarlos entre los dedos "Arriñonado"	Duro, Difícil de quebrar y desharinar con los dedos	Se dobla como caucho. Sólo parte con navaja
ESTRUCTURA INTERNA	Subdividido en segmentos visibles a simple vista	Enterizo. Como queso prensado	Compacto. Muy duro
COLOR INTERNO	Color "chocolate" (Marrón claro, café)	Parcialmente pardo y parcialmente violáceo. Morado (púrpura o violáceo) en diferentes tonalidades	Gris - negruzco (color pizarra)
OLOR	A chocolate Aromático Agradable	A vinagre Desagradable	Son olor o con olor a moho
SABOR	Medianamente amargo, agradable	Amargo	Muy amargo

Fuente: El beneficio del cacao. Secretaría de Agricultura. Departamento de Antioquia. 1998. (Pinzón Useche et al., 1998).

4.3 Cómo medir la calidad del grano de cacao

Para la medición de la calidad del grano, primero se debe clasificar dependiendo del tipo genético del árbol proveniente, Forastero (Indio Amelonado Amarillo) o Trinitario, de mayor calidad intrínseca. Después se clasifica en calidad A o calidad B de acuerdo con las especificaciones de cuatro grupos de atributos señalados en la tabla 3.

Tabla 3. Cuadro de calidad para cacao calidad A y B.

ATRIBUTO	ESPECIFICACIONES CALIDAD A	ESPECIFICACIONES CALIDAD B
Contenido de humedad 1. Humedad del grano	Máximo: 6,5%	Máximo: 6,5%
Peso promedio de granos 2. Peso por grano	Mínimo: 1.05 g Máximo: sin límite	Mínimo: 0,80 g Máximo: sin límite
Prueba de corte 3. Bien fermentado	Mínimo: 75%	Mínimo: 65%
4. Ligeramente violetas	Máximo: 20%	Máximo: 30%
5. Violetas	Máximo: 8%	Máximo: 20%
6. Sobre fermentadas	Máximo: 3%	Máximo: 15%

7. Moho interno	Máximo: 3%	Máximo: 5%
8. Pizarrosos	Máximo: 1%	Máximo: 4%
9. Planos, germinados, quebrados y otros	Máximo: 2.5%	Máximo: 3,5%
10. Daño por insectos	Máximo: 1%	Máximo: 1,5%
Prueba de corte	Alto	Se evalúa para detectar malos olores y sabores, no se aceptan malos olores extraños a cacao.
Análisis sensorial		
11. Sabor de cacao – aspectos		
12. Acidez		
13. Amargura	Poco	
14. Sabor extraño (ejem: humo, jamón, podrido, etc.)	No se acepta, aunque tenga buena fermentación	

Fuente: Adaptado de Manual para la evaluación del grano de cacao, La Lima, Cortés, Honduras, C.A. Sep, 2016.

4.4 Factores que influyen en la fermentación

Existen diversos factores que influyen en la fermentación, para Teneda, W (2016) son: el tipo de cacao, tiempo de almacenamiento antes de apertura y desgrane, el tipo de fermentador, tiempo de fermentado y la frecuencia de remoción. Para el autor, las etapas de la fermentación son:

la glucólisis (Conversión de glucosa a ácido pirúvico), a continuación la fermentación alcohólica (que es anaeróbica y permite la conversión de ácido pirúvico a alcohol etílico), continuando, se desarrolla la fermentación acética (que es aeróbica y donde se incluye el proceso de remoción donde el etanol se convierte en ácido acético) y finalmente, la fermentación oxidativa que requiere de una temperatura ideal de 28 a 30° C y un pH óptimo de 4,5.

La revisión también muestra que, para cada fase anteriormente mencionada, existen ciertos parámetros evaluativos que aseguran la correcta evolución del proceso. Como el hecho de que en la fase uno, de las levaduras el pH debe ser alto (entre 4.5 a 6.5); mientras que para la fase dos, las bacterias lácticas que se encuentra a una temperatura aproximada de 50°C presentan una disminución del pH cercano a 3 y para la fase final de bacterias acéticas, es primordial que el pH continúe siendo bajo y cercano a 3.

Adicionalmente, durante este proceso es necesario evaluar la calidad de los granos, según Afoakwa (2008), un 10% o más de polifenoles solubles es un signo de fermentación deficiente, lo que genera un sabor astringente, así mismo, una caída del pH menor a 4.5 disminuye o elimina los precursores del sabor. El periodo de pH óptimo durante la fermentación es crucial, ya que la composición del frijol y una buena fermentación, da como resultado un grano de calidad. Un pH entre 5.5 y 5.8 posiciona a los granos sin fermentación. Mientras que un pH bajo entre 4.75 y 5.19 es evaluado como un grano bien fermentado, el pH intermedio entre 5.20 y 5.49 es puntuado como un nivel de calidad alta, apto para ser usado en la fabricación de chocolate.

5. Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, se encuentra en la tabla 6, en ella se muestra la relación directa entre los objetivos específicos del proyecto y las actividades requeridas para cumplir con los mismos.

Tabla 4. *Descripción de actividades*

FASE	OBJETIVOS	ACTIVIDADES		
FASE 1 CONOCER	1. Identificar los parámetros en las condiciones de fermentación que afectan la calidad del grano de cacao	1.1 Estudio observacional del proceso de desarrollo de fermentación	TIPO DE ESTUDIO EXPLORATIVO	SUJETO CACAO CULTORES DE BETULIA
		1.2 Obtención de registro fotográfico y audiovisual en el municipio de Betulia		
	2. Analizar las variables más relevantes a tener en cuenta en términos de calidad del grano de cacao.	2.1 Capacitación sobre el proceso de fermentación	TIPO DE ESTUDIO DESCRIPTIVO	
		2.2 Revisión y análisis de estudios realizados con relación al correcto proceso de fermentación		

		2.3 Revisión y análisis de los factores controlables que afectan directamente la calidad del grano fermentado		
	MÉTODOS -Análisis literario relacionado con el correcto proceso de fermentación. -Estudio de los procesos de producción de cacao de los cacaocultores de la región de Betulia. -Capacitación por parte de los productores de cacao de la zona.			
FASE 2 DESARROLLO DE CONCEPTO	3. Evaluar las propuestas de diseño que permiten la tecnificación del proceso de fermentación del grano de cacao a escala de economía familiar	3.1 Revisión y análisis de soluciones actuales	TIPO DE ESTUDIO EXPLICATIVO Y CORRELACIONAL	SUJETO BASES DE DATOS, DISEÑADORAS
		3.2 Planteamiento de requerimientos para el desarrollo del concepto		
		3.3 Realización de alternativas y selección del concepto (se espera tener grupos de expertos y grupos con campesinos locales de Betulia)		

	MÉTODOS -Recopilación bibliográfica de soluciones actuales. -Redacción de los requerimientos de diseño. -Generación de concepto de diseño. -Selección del concepto con base al cumplimiento de los requerimientos y la opinión de expertos y campesinos locales de Betulia.				
FASE 3 VERIFICACIÓN	4. Comprobar la calidad del grano obtenido con la propuesta de diseño con respecto a la realizada tradicionalmente.	4.1 Realización de planos técnicos y especificaciones	TIPO DE ESTUDIO CORRELACIONAL	SUJETO CACAOCULTORES DE BETULIA	
		4.2 Realización del prototipo			
		4.3 Realización de pruebas de interfaz usuario-dispositivo	TIPO DE ESTUDIO EVALUATIVO		
		4.4 Fabricación de un prototipo funcional y realización de las pruebas experimentales			
	MÉTODOS -Programas de modelado 3D. -Desarrollo de prototipos. -Pruebas ergonómicas y funcionales con la población de Betulia.				

Fuente: Metodología (Elaboración propia)

5.1 Fase 1. Conocer

En este capítulo se encuentra documentado el cumplimiento de la primera fase del proyecto: Conocer, que conlleva el cumplimiento del primer y segundo objetivo específico, con un tipo de estudio exploratorio y descriptivo.

5.1.1 Diagnóstico general del proceso de fermentación

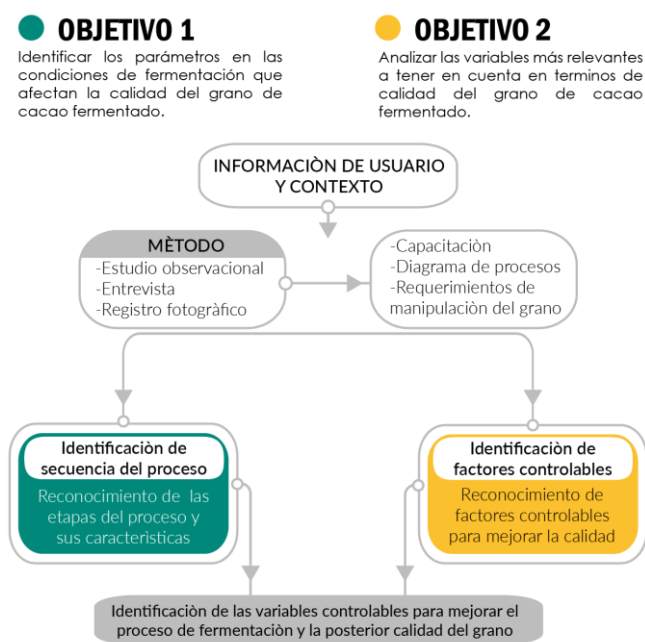


Figura 4 Diagrama de tareas y resultados para los objetivos 1 y 2.

5.1.2 Identificación de secuencia del proceso. El diagnóstico se realizó a partir de la realización de diferentes visitas en los terrenos de cultivo de cacao en Betulia, Santander (lugar de análisis del proyecto). Lo anterior, con el fin de indagar y obtener la información requerida sobre el desarrollo del proceso de fermentación en los diversos terrenos del municipio.

En primer lugar, se observó cada paso del proceso de fermentación y se analizaron las tecnologías utilizada por los cacaocultores de la zona, con el fin de determinar las variables que podrían ser controlables y que afectan directamente la calidad del grano fermentado. Asimismo, para encontrar información más general, se realizaron varias visitas en diferentes condiciones de terrenos, obteniendo información importante sobre las buenas prácticas de los campesinos. Este análisis permitió la definición de los requerimientos de diseño para el dispositivo.

La primera visita fue realizada el 18 de julio de 2018, en el municipio del Carmen de Chucurí a la parcela “La Esperanza”. La visita permitió, la revisión completa de todo el proceso de fermentación realizado en los terrenos, iniciando por la recolección y partida de mazorcas de cacao.



Figura 5. *Cacaocultor de la zona iniciando el proceso de apertura de las mazorcas.*

La información recolectada permitió identificar los siguiente:

- a) Los cultivadores establecen un punto específico para la recolección, los cultivadores cortan el fruto de los árboles y los llevan a puntos específicos mediante contenedores reutilizados donde se encuentran todas las mazorcas, allí se realiza la selección de las mazorcas que se encuentran listas para la fermentación y se inicia el proceso de partida de las mismas (ver Figura 5).



Figura 6. *Apertura de mazorcas y disposición de granos.*

- b) Una vez destapadas las mazorcas, se disponen en contenedores con agujeros al fondo de los mismos, esto con el fin de permitir la salida del mucílago de los granos, lo que permite agilizar el proceso de fermentación una vez ingrese en los contenedores (ver Figura 6).



Figura 7. *Expulsión del mucílago y disposición en cajas de fermentación.*

- c) En esta visita se encontró una etapa adicional en el proceso de fermentación (no contemplada en la teoría). Los granos recolectados en sacos se disponen a nivel de suelo en un lapso de dos días, con el objetivo de expulsar la mayor cantidad posible de mucílago y que el tiempo de fermentación dentro de las cajas fuese menor (ver Figura 7).
- d) El tiempo aproximado de duración de los granos dentro de las cajas es de 7 días, realizando remociones diarias mediante una herramienta de madera. El material de ésta y el alto nivel de humedad del contenido, termina desprendiendo partículas al interior de los granos, al igual que las paredes de las cajas (ver Figura7).

- e) Se observó la implementación de una tecnología propia de esta finca, para el mejoramiento del proceso. Las cajas cuentan con doble pared que permite conservar la temperatura interna, sin verse afectada por el clima exterior. Sin embargo, el método de control estaba enfocado en la temperatura del grano, que se verifica diariamente mediante un termómetro y una prueba de corte finalizando el proceso, para verificar el color del grano en su interior (ver Figura 8).



Figura 8. Color interno de los granos sin fermentar.

- f) Según información suministrada por uno de los trabajadores de la finca, este terreno es el único en el municipio que se ha interesado en aplicar técnicas de mejora para la calidad del grano de cacao en la etapa de fermentación, esto debido a que encontró un beneficio en la utilidad de la venta de granos de cacao de alta calidad a entidades internacionales.

La segunda visita fue realizada el 12 de noviembre de 2018 en la parcela “Gato Negro” en el municipio de Betulia, donde el terreno en el cual se cultiva el cacao es muy inclinado y de difícil transporte para las labores que deben realizar. Se hizo un recorrido por 3 fincas cercanas: La Arboleda, Cimitarra y La Armenia.

La información recolectada en esta segunda visita, permitió identificar los siguiente:

- a) El material utilizado para el proceso de fermentación es el mismo en los tres predios visitados (ver Figura 9).

- b) De la misma forma, se encontraron cajones de madera de dimensiones similares a las proporcionadas por FEDECACAO. Dos de ellos manejaban un sistema de fermentación en un único cajón a nivel del piso y para la protección de los granos usan hojas de plátano o elementos plásticos para mantener la temperatura del interior (ver Figura 9).



Figura 9. *Cajones de fermentación.*

- c) Las actividades de volteo se realizan manualmente con un asa, una vez por día (ver Figura 10)



Figura 10. *Herramientas para el volteo.*

- d) Dos fincas de las tres, no cuentan con ningún control sobre el proceso ni el tiempo de fermentación, ya que contemplan un aproximado entre los 5 o 7 días, basándose en un análisis observacional y la experiencia del campesino.
- e) El tercer terreno, La Arboleda. Es reconocida en la región por implementar un sistema de fermentación que le permite desarrollar granos de mejor calidad, este sistema consiste en dos cajones de madera en forma de escalera, consiguiendo que la remoción sea más sencilla, ya que sólo se requiere dejar caer toda la carga de un cajón a otro. Para este caso, no se sella el

cajón, lo que atrae bastantes insectos al lugar. Por otra parte, el volteo se realiza con ayuda de un asa de madera, sin embargo, sin ninguna rigurosidad ni frecuencia específica (ver Figura 11).



Figura 11. *Cajones de fermentación en escalera.*

Una vez finalizadas las visitas, se dio cumplimiento a la primera actividad de nuestra metodología. El estudio observacional del proceso de desarrollo de fermentación se resumen en las siguientes etapas: Recolección de la mazorca, partida de mazorcas, desengrullado, disposición en cajas de madera para iniciar el proceso de fermentación, remoción de los granos y secado de los mismos.

A partir de las mismas, se puede inferir que para el caso de las veredas de menor producción como lo son las ubicadas en el sector de Betulia se presenta una precariedad latente en términos de herramientas y tecnologías para el correcto desarrollo de un proceso de fermentación. Se evidencia un desconocimiento sobre las técnicas y procesos para la correcta producción de granos de cacao y así mismo, sus técnicas son rudimentaria y basadas en el conocimiento heredado de generación en generación. Por lo tanto, para el proceso de fermentación no existe ningún tipo de proceso estandarizado y no se cuenta con el control de ninguna variable.

5.1.2.1 Identificación de secuencia del proceso.

De acuerdo a la guía 8: cosecha, fermentación y secado de cacao. Disponible en la caja de herramientas para el cacao, las variables relacionadas al proceso productivo se presentan a continuación.

5.1.2.1.1 Cosecha. La cosecha del cacao es crítica para lograr un buen proceso de fermentación. Una vez cortadas y clasificadas, las mazorcas no deben pasar más de tres días para sacar los granos, ya que, si las semillas germinan dentro de la mazorca, se afecta su calidad. El productor debe clasificar las mazorcas de acuerdo a su grado de maduración y sobre todo, separar las variedades.

Si los granos suministrados no son correctamente clasificados, podrían afectar significativamente el resultado de fermentación final, ya que, cada especie de cacao requiere de tiempos de fermentación diferente.

5.1.2.1.2 Apertura de las mazorcas. La apertura de las mazorcas debe realizarse el mismo día que se pondrá a fermentar. Se recomienda golpearlas con un mazo y evitar usar machete ya que se podría herir las semillas. Para la extracción hay que deslizar los dedos a lo largo de la vena central. Los granos deben ser dispuestos en un balde, tina o bolsa plástica limpia y sin olores.

Es muy importante realizar la apertura el mismo día que iniciará la fermentación, ya que, el proceso de fermentación inicia desde el momento en que se abre la mazorca, por lo que no hay que dejar pasar más de horas entre la apertura y la disposición en la caja de fermentación. Igualmente, si al momento de la apertura, se lastiman algunos de los granos al interior, estos mismos sufrirán daños y generarán hongos que terminarán infectando los granos buenos al interior de la caja de fermentación.

5.1.2.1.3 Fermentación. El proceso de fermentación tiene dos fases: anaeróbica o alcohólica donde las levaduras transforman el almidón y azúcar en alcohol. La segunda fase aeróbica o acética, cuando las bacterias transforman el etanol en ácido acético, encargado de los cambios químicos que generan sabor y calidad en el grano.

El control de temperatura es importante ya que permite vigilar los procesos que ocurren en la masa cacao. Como resultado de una mala fermentación se obtienen granos astringentes, olor fuerte y sabor ácido.

5.1.2.1.4 Secado. El proceso de secado se basa en el movimiento de aire en los granos para ayudar a que baje la humedad. El método más usado es aprovechando la energía solar, los granos son dispuestos en plataformas de madera y con un movimiento constante. Los tiempos de secado varían de acuerdo a las condiciones climáticas.

5.1.3 Identificación de factores controlables. Según los análisis realizados, existen tres factores primordiales durante el proceso de fermentación: temperatura, remoción y el pH. Una vez realizado el análisis teórico, se establece controlar los tres factores anteriormente mencionados. Esto con el fin de asegurar completamente el nivel de astringencia, sabor y olor adecuados.

5.1.3.1 Temperatura. Durante la fermentación, la actividad microbiana en la pulpa de cacao genera calor y produce etanol, ácido acético y ácido láctico que mata al frijol. Los productos de la pulpa durante la fermentación penetran lentamente en la carne, causando hinchazón y estimulando las reacciones enzimáticas que producen precursores del sabor, y en el sabor característico de tostado y notas de aroma.

Se ha señalado, teóricamente, que al inicio de la fermentación (48 horas) la actividad microbiana provoca un incremento de la temperatura hasta alcanzar un máximo entre 42- 45°C y luego desciende como consecuencia de la inactivación de las bacterias acéticas y la muerte del embrión, ocasionado por la penetración del ácido acético (Enríquez, 1985; citado por Portillo et al., 2005) completando el proceso de fermentación entre 6 a 8 días según el tipo de cacao. Por ello es importante poder controlar el aumento adecuado de la temperatura y que este no afecte el resultado final.

5.1.3.2 Remoción o volteo.

La variedad del fruto y la frecuencia de remoción, durante el proceso de fermentación, son dos factores que al generar cambios bioquímicos determinan el aroma y sabor a chocolate. La frecuencia de remoción hace que favorezca la aireación en la fermentación aeróbica y da lugar a la formación del ácido acético con liberación de calor. Esto hace que el pH disminuya, se incremente el grosor del grano, se descompongan las células de los cotiledones y ocurran nuevas reacciones químicas, las que continúan durante el secado y determinan la composición del grano seco. (Loayza Lozano, W. 2014).

5.1.3.3 El pH. En la fase uno, el pH debe ser alto (entre 4.5 a 6.5), en la fase dos, las bacterias lácticas que se encuentra a una temperatura aproximada de 50°C presentan una disminución el pH cercano a 3, finalmente en la última etapa de bacterias acéticas, es primordial que el pH continúe siendo bajo y cercano a 3.

- Un pH entre 5.5 y 5.8 posiciona a los granos sin fermentación
- Un pH bajo entre 4.75 y 5.19 es evaluado como un grano bien fermentado

- Un pH intermedio entre 5.20 y 5.49 es puntuado como un nivel de calidad alta

Con una caída rápida del pH (<4.5) se observa una reducción en los precursores de sabores y una lenta difusión de los ácidos orgánicos a través de los cotiledones, el tiempo de entrada inicial, la duración del período de pH óptimo y el pH final son cruciales para el sabor final (Biehl y Voigt, 1999). Por lo tanto, la composición del frijol interactúa con la fermentación en la formación de la calidad del sabor del cacao. Los frijoles frescos con bajos contenidos de precursores de sabores tendrán un uso comercial limitado y las actividades de fermentación no podrán rectificar este déficit. Las cantidades apropiadas y la proporción de precursores son esenciales para la producción óptima de volátiles saborizantes en la torrefacción (Afoawka, E_2008).

5.1.4 Variables relacionadas con el producto. De acuerdo a la investigación realizada por Mantilla J., Arguello A. & Méndez H. (2000), en la Caracterización y tipificación de los productores de cacao del departamento de Santander. Se establecieron las siguientes variables para el desarrollo del concepto.

5.1.4.1 Producción nacional. El cacao plantado en el país es de 82.400 hectáreas, con un aproximado de 25.000 familias productoras. De los cuales, el 61.5% de las producciones, se concentra en predios de entre 5 y 20 hectáreas. Esto quiere decir, que la mayoría de productores de Santander son familias productoras a pequeña escala. Sin embargo, las cajas disponibles son para producciones de 250 kg de cacao, cantidades que los pequeños productores no logran cumplir, razón por la cual se ven obligados a fermentar en recipientes más pequeños y sin ningún tipo de protocolo. Razón por la cual, este proyecto tendría un impacto positivo en la sociedad de productores a pequeña escala.

5.1.4.2 Servicios básicos disponibles. En la zona cacaotero existe baja cobertura y mala calidad en los servicios domiciliarios; el 56% de las fincas no cuenta con servicio de gas. El 52%

de las viviendas se surte de agua mediante acueductos veredales. Así mismo, el servicio de energía eléctrica es de un 41% en los predios rurales, sin embargo, según la zona es más o menos.

Estas condiciones, muestran el bajo nivel de vida de los productores; por lo que, el cultivo de cacao representa un ingreso económico importante. Situación que demanda investigación y transferencia de tecnología que garantice su sostenibilidad económica según los recursos disponibles y teniendo en cuenta la carencia de electricidad o energía para el accionamiento de algún tipo de prototipo.

5.2 Fase II. Desarrollo del concepto

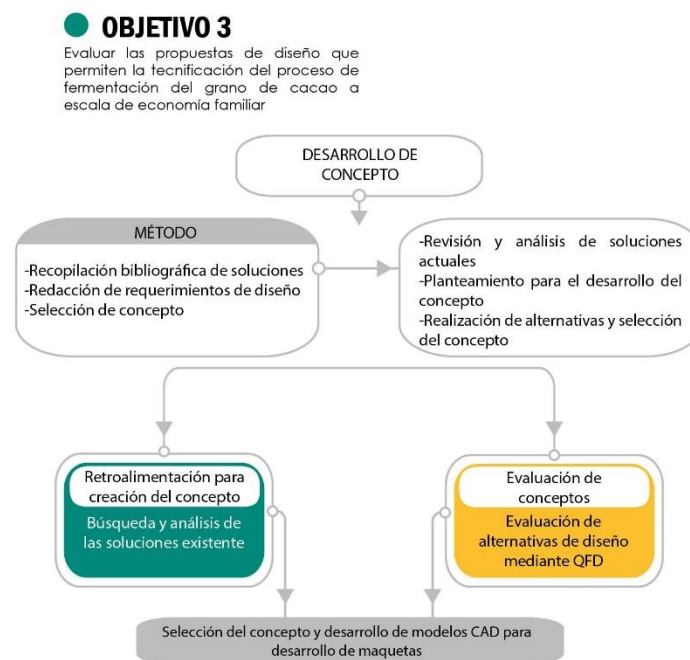


Figura 12. Diagrama de tareas y resultados para el objetivo 3.

5.2.1 Revisión tecnológica de lo existente. Según la investigación realizada por William Teneda Ingeniero en Alimentos la Universidad Internacional de Andalucía. La correcta fermentación de cacao se hace en madera, ya que este material garantiza un cacao de calidad en su buen color, olor, sabor y apariencia. Para ello existen diferentes tipos de fermentación, no todos garantizan un resultado óptimo, pero son los más aplicados en la actualidad.

5.2.1.1 Métodos de fermentación.

- Fermentación en sacos: se realiza en costales de polietileno o yute, y se dejan en el suelo. No es muy recomendable porque carece de aireación. El producto final que se obtiene es de regular calidad. El porcentaje de granos fermentados es muy bajo.



Figura 13 Fermentación en sacos Fuente: Métodos de fermentación del cacao. Agropecuarios.net. Disponible en: <http://agropecuarios.net/metodos-de-fermentacion-del-cacao.html>

- Fermentación en montón: Se realiza extendiendo hojas de plátano en el suelo y se colocan los granos formando rumas cubriéndolos con las mismas hojas, o en ocasiones con sacos de yute para evitar la fuga de calor. La cantidad mínima para generar el calor necesario en la fermentación por este método es de 80 libras (36,28 Kg).



Figura 14. Fermentación en montón. Fuente: Métodos de fermentación del cacao. Agropecuarios.net. Disponible en: <http://agropecuarios.net/metodos-de-fermentacion-del-cacao.html>

- Fermentación en cajón: En este tipo de fermentación se colocan las almendras en cajones de madera nivelándolas uniformemente, y tapándolas con hojas de plátano o sacos de yute, para mantener la humedad y conservar la temperatura.



Figura 15. Fermentación en cajón. Fuente: *Métodos de fermentación del cacao. Agropecuarios.net*. Disponible en: <http://agropecuarios.net/metodos-de-fermentacion-del-cacao.html>

- Fermentación en tambor rotatorio: Es un tambor que cuenta con sistemas de remoción interna accionado por medio de un eje con paletas y un sistema de frenado, para la carga y descarga. Permite obtener mejor calidad y rendimiento del grano de cacao. De todas las formas de fermentar el grano de cacao, las más recomendables son en cajones de madera o tambor rotatorio, ya que aísla los granos de contaminantes externos y ambientes húmedos o resolanos.



Figura 16. Fermentación en tambor rotatorio. Fuente: *Fermente bien su cacao*. Espinosa E., Perea A., Villamizar C., Calle L. 1998

- Fermentación en bandejas tipo Rohan: Se le conoce como la fermentación en gavetas. Las bandejas tipo Rohan más usadas miden 120 cm de largo, 90 cm de ancho y 10 cm de alto. Al fondo de las bandejas hay rendijas entre las tablas que permiten que salga la baba o mucílago. Las bandejas se hacen con madera de laurel u otras especies que no dejen su olor al cacao. Para el llenado de las bandejas es necesario ubicarlas en una superficie en desnivel para facilitar el desagüe de los lixiviados, además cada una de las bandejas se debe ubicar una encima de la otra lo que dificulta la remoción, al tener que desmontar cada una de estas.



Figura 17. Fermentación en bandejas tipo Rohan. Disponible en: <http://cacaomovil.com/guia/8/contenido/fermentacion/>

- Fermentación en tambor rotatorio Hexagonal módulo Trapezoidal: El tambor Hexagonal giratorio permite satisfacer las grandes cantidades de cacao durante la campaña de acopio centralizado. Cuenta con 2 paletas separadoras internas para facilitar la remoción de la masa fermentable, tiene incorporado un termómetro para el control de temperatura durante el proceso de fermentación. También su forma trapezoidal permite una adecuada mezcla y uniformidad del proceso de fermentación, reduciendo el tiempo entre un 18% y 20%. No se percibe desventajas en este sistema lo cual hace que de los anteriores mencionados sea el más completo.



Figura18. Fermentación en tambor rotatorio hexagonal. Disponible en: <https://nscoral.pe/cajon-fermentador-de-cacao/>

Tal como se muestra en la revisión anterior, los métodos usados actualmente ratifican el hecho de que la fermentación es un proceso desarrollado de forma rudimentaria en la mayoría de los casos y que, según conocimientos tradicionales de los cultivadores, presentan una fermentación estándar y no representativa. Por otro lado, los métodos de fermentación de cajón y la fermentación en tambor rotatorio, muestran un avance en la búsqueda de tecnología para el mejoramiento del

proceso, ya que muestra una preocupación por aislar y proteger los granos, para mantener al interior de los sistemas la temperatura requerida para la obtención de mejores resultados.

5.2.2 Requerimientos de diseño según la experiencia de usuario

Una vez realizadas las visitas técnicas, se ratificó que no existe ningún protocolo para la producción de cacao. Para el caso del proceso de fermentación, los productores de la zona usan cajas de madera dado que es la materia prima que tienen a la mano, no realizan control en ningún control durante todo el proceso. Por lo cual, analizando la literatura, se seleccionaron aquellas variables medibles para conocer el progreso del proceso.

Por otro lado, dada la situación precaria y aislada de los productores, es necesario un lenguaje de uso claro y con similitud formal a las soluciones actuales, mediante lo cual, la adaptación de esta nueva solución obtenga un mayor índice de aceptación. Así mismo, teniendo en cuenta que no todas las veredas de la región cuentan con acceso a servicios básicos, es importante que el accionamiento del sistema cuente con energías alternativas

5.2.3 Requerimientos y parámetros de diseño

Los requerimientos establecidos en la figura 19, esta basado en la metodología de Ulrich y Eppinger (2013) clasificando las características en humano, funcional, técnico-productivo o formal-estéticos. Cada requerimiento fue clasificado y posteriormente calificado así: taxativo (3), deseable (2) y opcional (1), de acuerdo a la importancia que tenga para el diseño del prototipo. Buscando así que la propuesta este enfocada a las necesidades del usuario.

Requerimiento	Clasificación	Determinante	Parámetro	Puntos
HUMANO	Accionamiento digital -TAXATIVO-	Sistemas y componentes digitales.	Pulsador, interruptor, tablero digital, otros.	3
	Dimensiones según población -TAXATIVO-	Antropometría de agricultores (manos)	Percentil 75	3
	Transportable -OPCIONAL-	Peso: liviano Elementos de transporte	Peso 3 Kg max Ruedas	3
	Realización de tareas -OPCIONAL-	Drenaje de líquidos Volteo de granos Control temperatura	Sistema de drenaje Helice/Mov. giratorio Termometro	3
	Control visual de la actividad -DESEABLE-	El dispositivo permite visibilidad del proceso interno	Material traslucido (vidrio, acrilico)	2
FUNCIONAL	Pocos pasos de manipulación -DESEABLE-	Pocos comandos de manipulación y control	Número de comandos: entre 1 y 3 Accionamiento rápido y sencillo	3
	Ajustable a la temperatura requerida -TAXATIVO-	Calefacción y ventilación	Aumento a 50°C y posterior disminución	3
	Material adecuado para el proceso -TAXATIVO-	Permite un proceso homogéneo en todo el dispositivo	Madera, metal, cemento	3
	Tablero digital de manipulación -TAXATIVO-	Interfaz de uso del dispositivo	Hardware	3
TÉCNICO PRODUCTIVO	Resistencia a la interperie -TAXATIVO-	Material resistente a los cambios climáticos	Plástico, metal, polímero	3
	Componentes normalizados -OPCIONAL-	Para mantenimiento o reparación debe ser fácil desmontar	Material traslucido (vidrio, acrilico)	1
	Tiempo de vida útil alto -OPCIONAL-	Manual de operaciones y mantenimiento. Acabados resistentes al deterioro	Diagrama de uso y de mantenimiento. Acabados externos pavonados	1
	Lenguaje de uso claro -TAXATIVO-	Formas, colores y texturas que faciliten su uso	Presaber universal, retroalimentación, etiquetas. Manual físico de uso (gárfico)	3
	Composición de color -OPCIONAL-	Colores cálidos	Tonos tierra	1
EXPRESIVO FORMAL	Similitud formal a las soluciones existentes -OPCIONAL-	Caja cuadrada Cilindro rotatorio	Tonos tierra	1

Figura 19. Requerimientos de diseño

5.2.4 Generación de alternativas. En el siguiente capítulo se muestran las primeras alternativas desarrolladas en el proceso creativo de la propuesta de la cámara de fermentación bajo condiciones controladas. En una primera estancia se desarrollaron bocetos, para los cuales se aplicó una matriz QFD, para determinar la alternativa más adecuada. Posteriormente se le desarrolló un boceto (sketch).

5.2.4.1 Bocetos

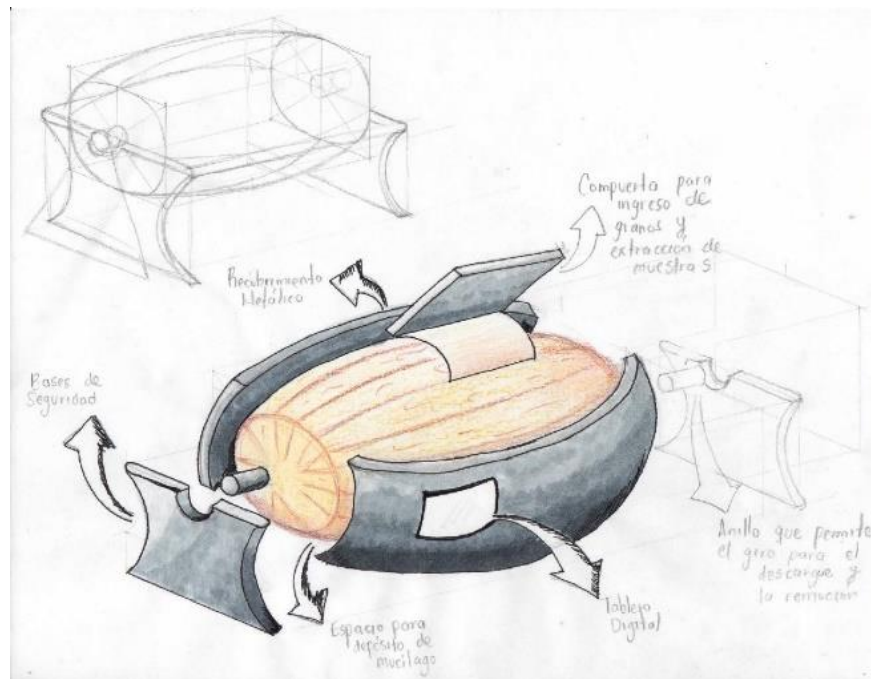


Figura 20. Alternativa #2-Similitud formal a las mazorcas de cacao. -Material igual al actual. -Compuertas de cargue/descargue -Pantalla digital

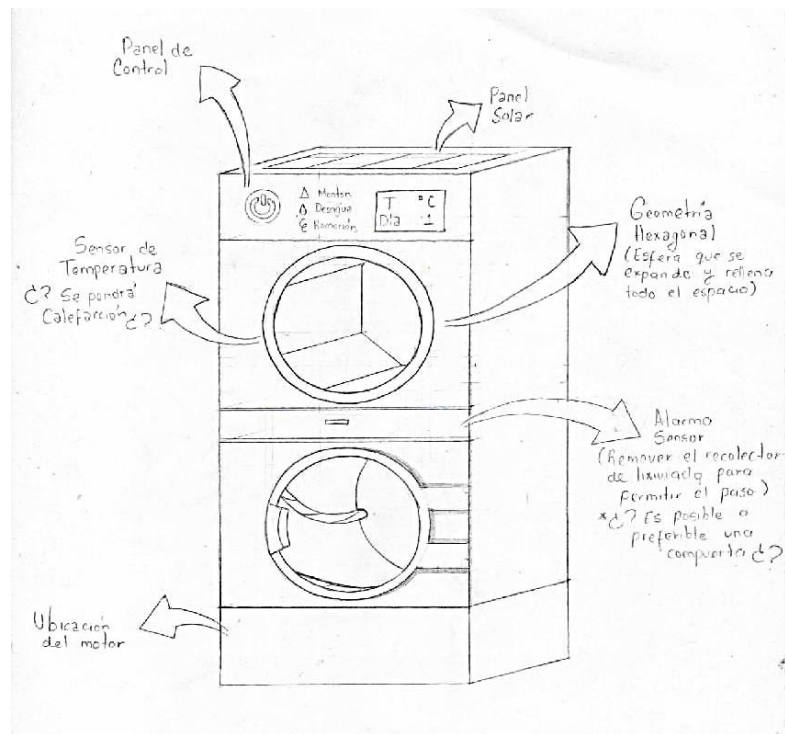


Figura 21. Alternativa #1-División del sistema por fases (anaerobia y aerobia) -Estructura rígida y con soporte a la intemperie.

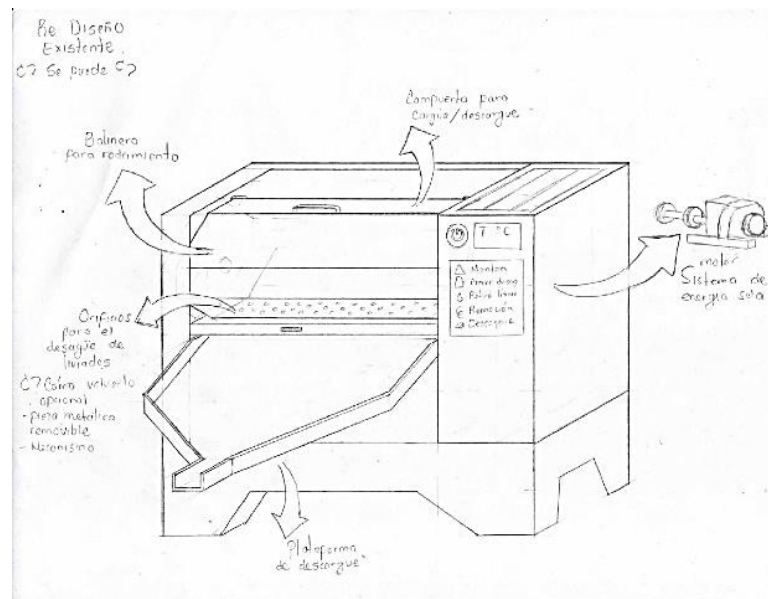


Figura 22. Alternativa #3 -Motor para mover el sistema. -Sistema de salida. -Rejilla para recolección de lixiviados.

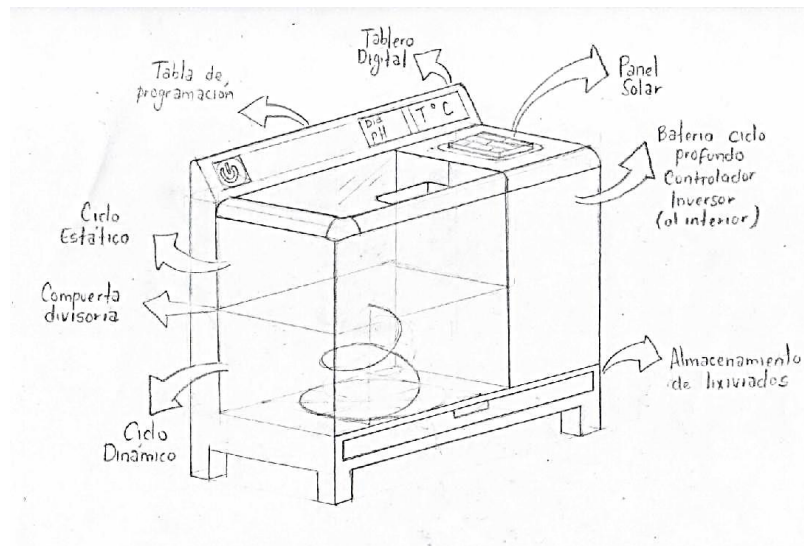


Figura 23. Alternativa #4-Fuente de energía solar -Un solo compartimiento. -Recolección de lixiviados.

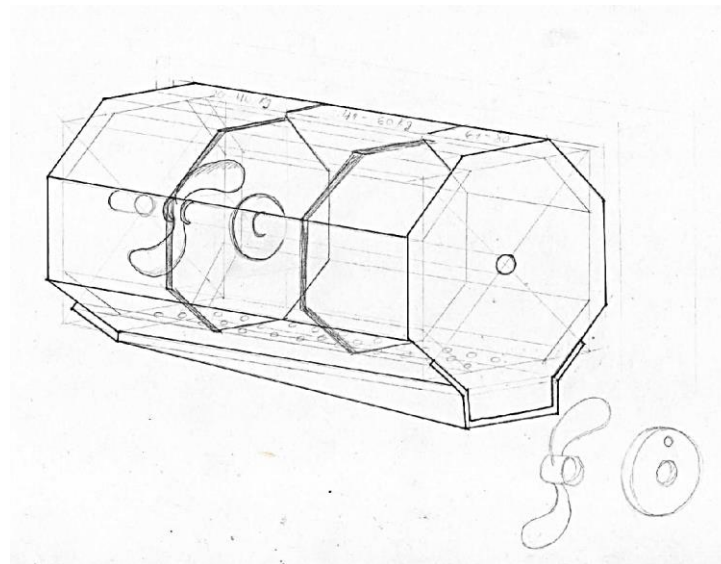


Figura 24. Alternativa #5 Compartimiento móvil para permitir la división de las cargas según la capacidad de producción

5.2.4.2 Selección de bocetos. Para la selección de la alternativa de diseño, se aplicó la matriz QFD. Basada en las necesidad y requerimientos del desarrollo del proyecto.

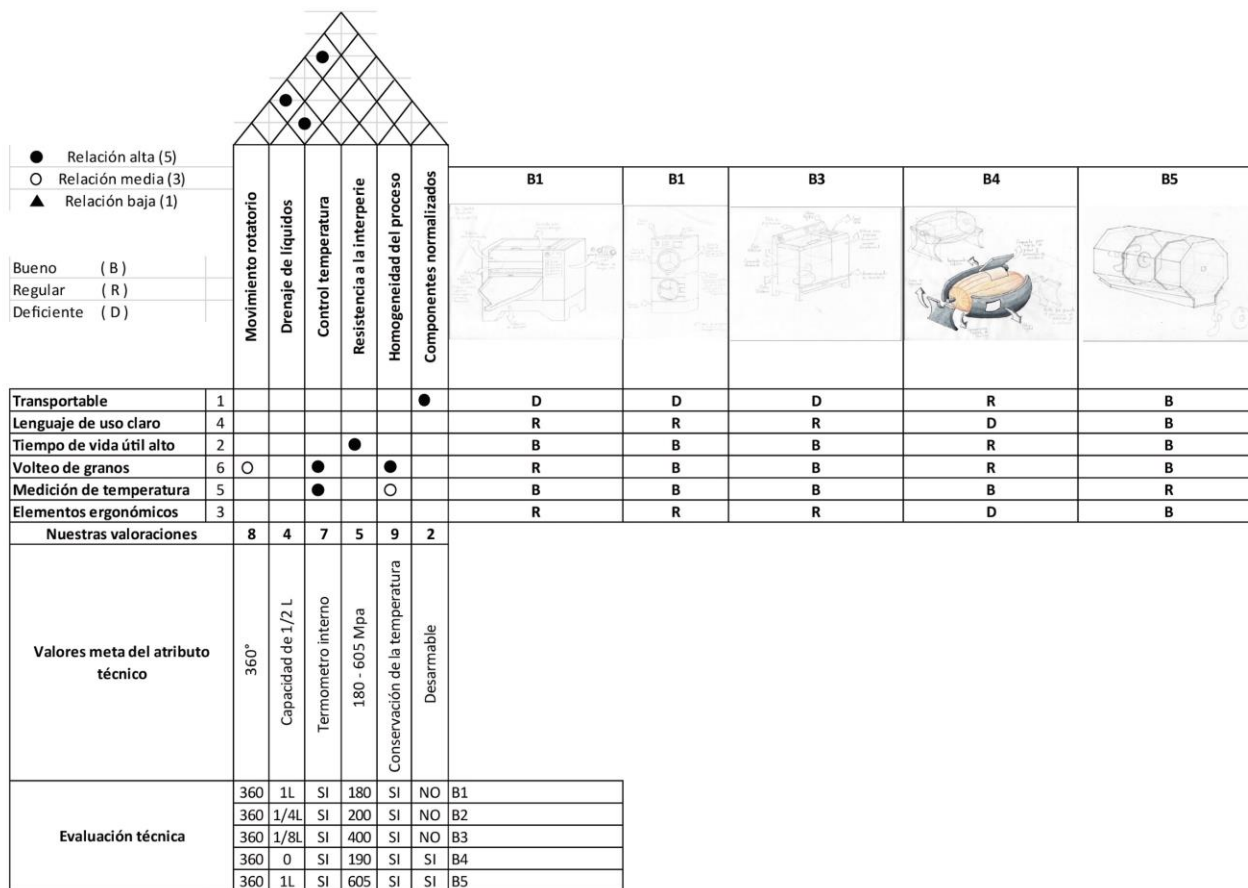


Figura 25. Matriz QFD para selección del concepto.

Al finalizar la evaluación, se determinó que la alternativa contemplada en el boceto 5 cumplía los requerimientos y deseos del cliente de manera óptima. Por lo cual, a partir del mismo se desarrollaron bocetos técnicos detallados con mejoras del sistema, con base en la recomendación del grupo de expertos en el área.

El grupo de experto estuvo conformado por:

- PhD en Química, MSc. Química aplicada a procesos industriales. Ingeniería Química.
- PhD (C) en Ciencias Agrarias, MSc. Térmica y energía. Ingeniero Mecánico.

5.2.4.3 Bocetos CAD.

- **Alternativa 1:** En esta alternativa se propuso alimentar la máquina por medio de paneles solares permitiendo una remoción automática, se implementó el método de fermentación por tambor rotatorio hexagonal y se planteó una puerta para el cargue y otra para el descargue en la parte posterior de la máquina, facilitando así cada actividad. El sistema de remoción del grano se acciona por medio de una biela manivela en la parte lateral derecha.

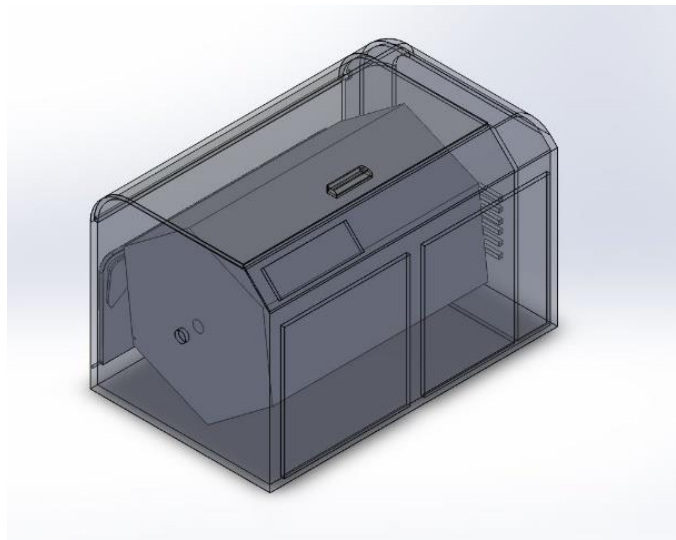


Figura 26. Boceto técnico #1.

- **Alternativa 2:** En esta alternativa se propuso el tambor contenedor de cacao de menor capacidad, se planteó un cajón adicional para la recolección de los lixiviados, se mantuvo la propuesta de dos puertas para el cargue y descargue de los granos, de igual manera se manejó el sistema de tambor rotatorio hexagonal y se quiso dar una forma más compacta en la parte de la carcasa del mecanismo.

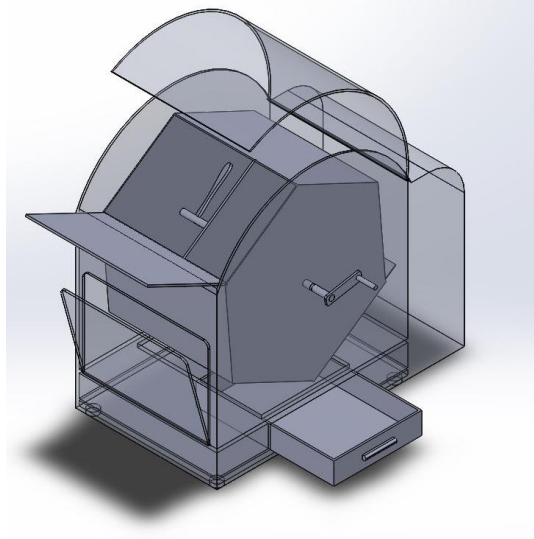


Figura 27. Boceto técnico #2.

- **Alternativa 3:** En esta alternativa se combinaron las propuestas 1 y la 2, explicadas anteriormente, para escoger los elementos principales de cada una y así poder generar una más complementada. Se planteó dos palancas de accionamiento, las dos ayudaban al momento de la remoción, pero la del lateral derecho hacia girar el tambor permitiendo el cargue y descargue. Se mantuvo el cajón de los lixiviados y finalmente se propuso que el funcionamiento fuera manual.

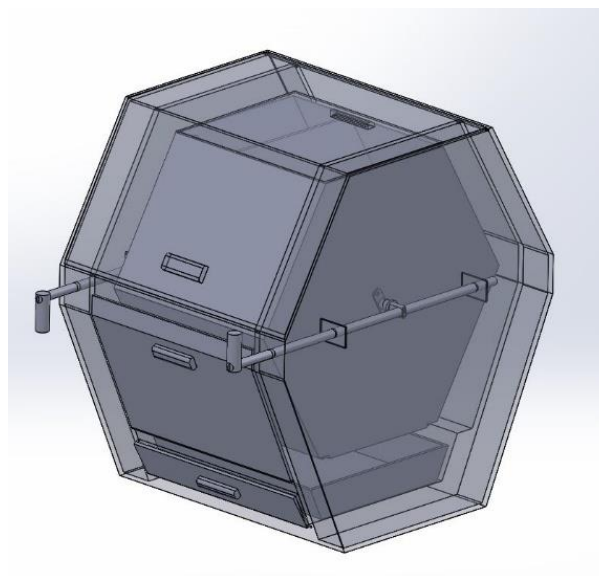


Figura 28. Boceto técnico #3.

- **Alternativa 4:** Finalmente, en esta alternativa se dejó solo un mando de accionamiento el cual permitiera que tanto personas diestras como zurdas lo accionen, se implementó una pared interna para reducir la capacidad de llenado, y se mantuvo las demás prestaciones de la alternativa 3.

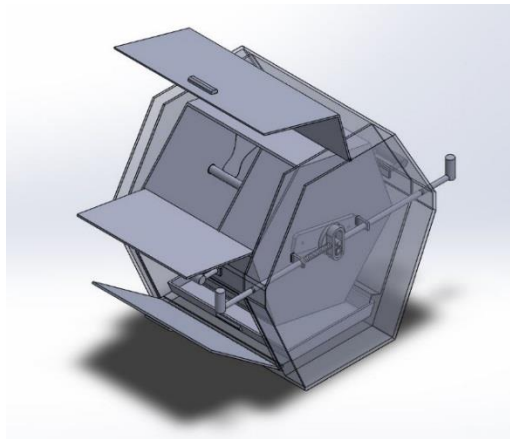


Figura 29. Boceto técnico #4.

5.3 Fase III. Verificación.

● OBJETIVO 4

Comprobar la calidad del grano obtenido con la propuesta de diseño con respecto a la realizada tradicionalmente.

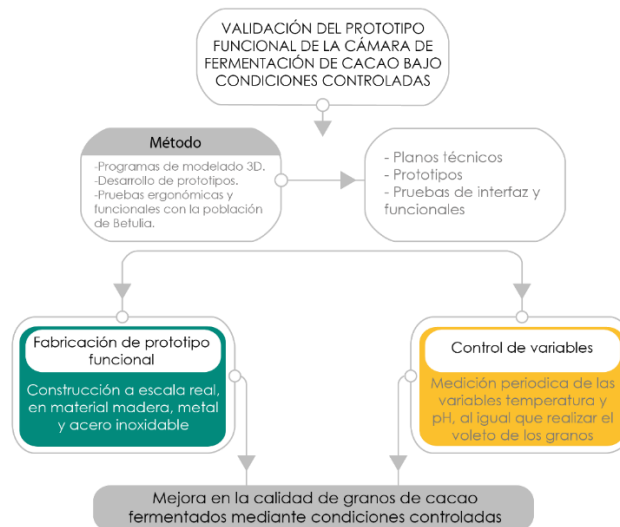


Figura 30. Diagrama de tareas y resultados para el objetivo 4.

5.3.1 Realización de planos técnicos y especificaciones.

5.3.1.1 Realización de maqueta. La maqueta funcional del mecanismo, fue escalada (1:4), buscando centrarse solo en la verificación del mismo. Esta permite ser modificado de tal manera que facilite su función principal, la remoción y volteo del cacao.

5.3.1.2 Verificación de la maqueta. Para la recopilación de la información de las verificaciones de la maqueta escalada, se presentan los resultados mediante mallas receptoras como método para facilitar la retroalimentación de los resultados obtenidos en cada una de las verificaciones.



Figura 31. Malla receptora. Primera verificación.



Figura 32. Malla receptora. Segunda verificación.



Figura 33. Malla receptora. Tercera verificación.



Figura 34. Malla receptora. Cuarta verificación.

5.3.2 Modelado CAD. La primera etapa para la construcción del prototipo final, inició con el modelado CAD mediante Solidwroks. A partir de este, se obtuvieron los planos de construcción disponibles en el apéndice A.

5.3.2.1 Mecanismos

5.3.2.1.1 Yugo escocés. La investigación de posibles mecanismos identificó al yugo escocés como aquel que permitía generar a partir de un movimiento rectilíneo una transición rotatoria, necesario para el mando principal que acciona el tambor hexagonal rotatorio.

El yugo escocés, es un mecanismo para convertir el movimiento lineal de un control deslizante en el movimiento de rotación o viceversa. El pistón, por otra parte, está directamente

acoplado a un deslizamiento con una ranura para que realice un alfiler en la parte giratoria. La forma del movimiento del pistón es una onda senoidal pura en el tiempo, a una constante dada determinada por la velocidad de rotación.

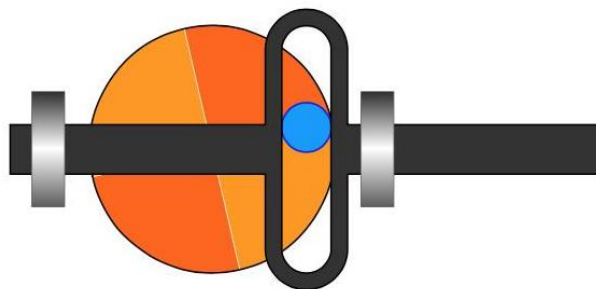


Figura 35. *Mecanismo yugo escocés* Fuente: <https://es.scribd.com/doc/203076961/Mecanismo-de-Yugo-Escoces>

5.3.2.1.2 Mecanismo para el bloqueo de lixiviados. Como se mencionó anteriormente, el proceso de fermentación consta de dos etapas, una anaeróbica y otra aeróbica. La fase anaeróbica, ocurre durante las primeras 24 a 48 horas después de la cosecha y apertura de las mazorcas. En esta etapa, los granos se encuentran expuestos a microorganismo, donde los azúcares y el pH de la pulpa atraviesan una reacción que resulta en etanol.

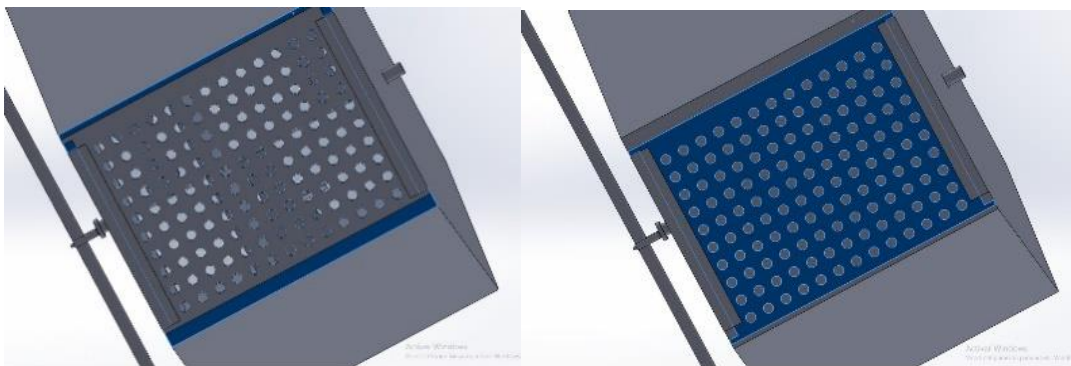


Figura 36. *Rejilla de lixiviados.*

Posteriormente, de las 48 a 96 horas siguientes, debido al inicio de la remoción de los granos, se ven afectadas por la aireación y un aumento en el pH. En esta etapa, las bacterias de

ácido láctico se convierten en ácido acético mediante procesos exotérmicos que conllevan a un aumento de temperatura de la masa de entre 45°C a 52°C, teniendo como resultado el sabor deseado en los granos.

Debido a lo anterior, dentro del dispositivo se desarrolló una puerta corrediza que permite mantener hermética la masa de granos durante la primera etapa, para posteriormente, a las 48 horas, deslizarla y permitir el ingreso del oxígeno para continuar con las diversas reacciones químicas.

5.3.2.2 Indicadores.

5.3.2.2.1 Temperatura. Para mantener el control de la temperatura al interior del tambor rotario, el prototipo cuenta con un termómetro digital lcd tipo K TM-902, fabricado en fibra de vidrio con un tamaño de 27*72*108mm y un rango de temperatura de -50 – 300°C y cuenta con precisión: 0 °C a 500 °C: + (0,75% + 1 °C). Que permanece constantemente en contacto con los granos al interior del tambor, para registrar y llevar el control de la temperatura durante el transcurso del proceso de fermentación.



Figura 37. Termómetro Fuente: <https://www.amazon.es/TM-902-Digital-Term%C3%B3metro-Medidor-temperatura/dp/B077Z5KYQ3>

5.3.2.2.2 Volteo. La acción de remoción o volteo de los granos inicia durante la fase aeróbica de la fermentación, es decir, después de las primeras 48 horas de iniciado el proceso. Para el correcto efecto de rotación de los granos, se estableció la geometría hexágonal regular que por efecto de ángulo de 120° y con ayuda de la gravedad, facilitada el desprendimiento de los granos. Para asegurar que los productores sigan el protocolo correcto de fermentación, se incluyó en el dispositivo, una alarma programada para sonar a las 48, 72, 96, 120, 144 y 168 horas, que recuerde al cacaoculto que debe realizar el volteo del tambor con el fin de oxigenar la masa interna.

5.3.2.2.2.1 Alarma. Para la fabricación de la alarma, se hizo uso de diversos elementos electrónicos como: Arduino UNO, Protoboard MB-102, un módulo LCD 1602A y una bocina, elementos visibles en la imagen.

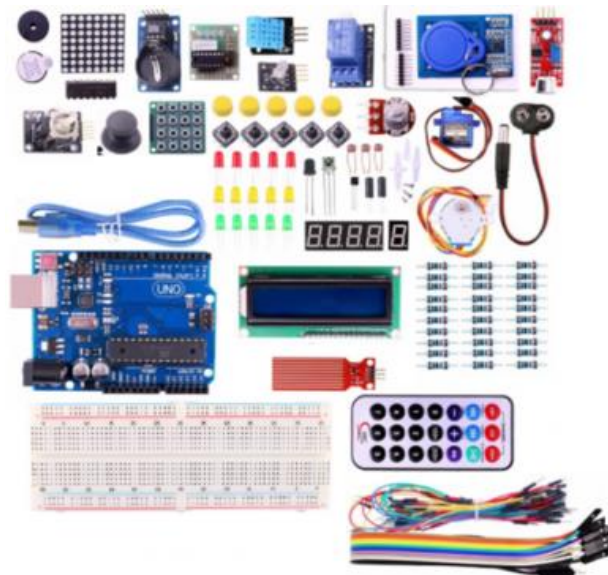


Figura 38. Arduino Uno R3 Kit of the starter kit Fuente: <https://www.indiamart.com/proddetail/arduino-uno-r3-kit-of-the-starter-kit-16069038497.html>

QUE	COMO	0°C - 60°C	No desprenda sustancias químicas	No suelte algún tipo de colorante	No sea contaminante o tóxico	Facil limpieza	Permita contener líquidos	Resista golpes y rayones	Comercial - facil de conseguir en el mercado	Biodegradable - Reciclable	Atractivo visualmente	Textura suave
		Resistente al calor	9									
		Inoloro		9	1	1	1			1		1
		Incoloro		1	9	1	1			1		1
		Higiénico		3	3	3	3	1		1		1
		Lavable		1	9	3	9	3		1		1
		Impermeable		3	1	1	1	9	1	1		1
		Durabilidad	9				1	1	9			1
		Accesibilidad					1		9		1	1
		Reciclable		9	9	9	1	1	1	9	1	1
		Estético					1	1	1	1	9	3
ANALISIS TÉCNICO COMPETITIVO	MADERA	5	2	2	9	9	7	8	9	9	9	9
	ACERO INOXIDABLE	9	8	7	9	9	9	9	9	8	9	9
	PET	2	2	3	4	9	9	7	5	0	9	8
DIFICULTAD DE CUMPLIMIENTO		3	5	5	3	9	5	9	8	5	9	9
VALOR OBJETIVO		4	4	5	4	9	6	8	7	4	8	8
		ANALISIS COMPETITIVO CLIENTE MADERA ACERO INOXIDABLE PET IMPORTANCIA CLIENTE VALOR OBJETIVO										

Figura 39. Matriz QFD para selección de material.

Finalmente se pudo determinar que, de los tres materiales evaluados (madera, acero inoxidable y tereftalato de polietileno PET) el acero inoxidable era ideal para la construcción del tambor rotatorio que contiene el cacao por sus propiedades y beneficios en el contacto con alimentos, también toda la parte mecánica del sistema y la madera para los acabados y construcción del armazón del fermentador.

Sin embargo, para la construcción del prototipo funcional, debido al costo, se limitaron los materiales con relación a los propuestos en el prototipo final.

5.3.4 Ergonomía.

5.3.4.1 Ergonomía del agarre de la mano. En cuanto a la ergonomía aplicada en este proyecto se centró en el agarre de la mano, debido a que este influye directamente en el accionamiento del mecanismo del fermentador. A continuación se describen estos parámetros necesarios para la construcción del asa que accionará el mecanismo de acuerdo con la ficha técnica publicada por el Instituto de Seguridad y Salud Laboral.

5.3.4.1.1 El mango. Según los consejos de seguridad de la UNED, el diseño del mango debe tener una longitud superior a los 7 cm y preferiblemente con forma ovalada con un diámetro aproximado de 4 cm, tesis apoyada por ISSI (Instituto de Seguridad y Salud Laboral), quienes favorecen dicho diseño ya que evitan presiones localizadas. Así mismo, mencionan la importancia de mangos diseñados para ser usados por diestros y zurdos. Razón por la cual, nuestro dispositivo cuenta con un doble mango que permite el accionamiento del mismo por parte de toda la población.

5.3.4.1.2 Empuñadura. Para el caso de la empuñadura, es primordial que al momento del agarre de la herramienta, la muñeca quede recta o en posición neutra. Dado que la dirección de la fuerza para accionar el sistema es horizontal, la empuñadura más adecuada en tipo pistola ya que el trabajo se realiza a la altura del codo.

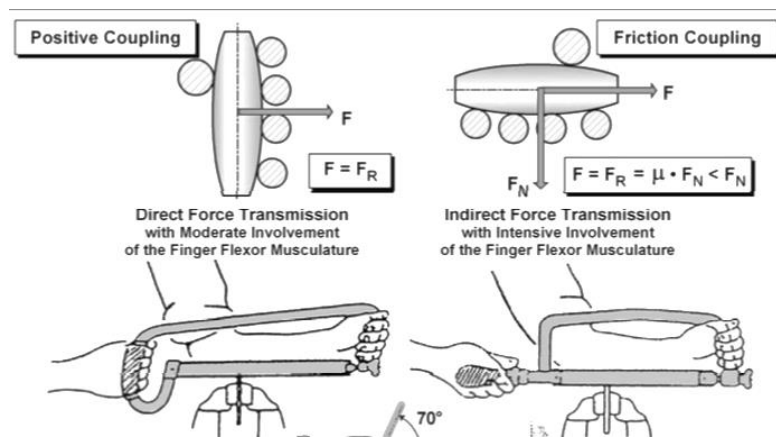


Figura 40. Ejemplos de posturas adecuadas Fuente: Strasser, H., & Bullinger, H. J. (2007). *A systematic approach for the analysis and ergonomic design of hand-held tools and control actuators—visualized by some real-life examples.*

5.3.4.2 Sistema de cargue/descargue. Según NIOSH los puntos críticos en el levantamiento de carga son el cargue y descargue. En este caso el cacaocultor debe sostener el balde con la pulpa de cacao por un periodo de tiempo corto mientras vacía el contenido en el tambor giratorio.

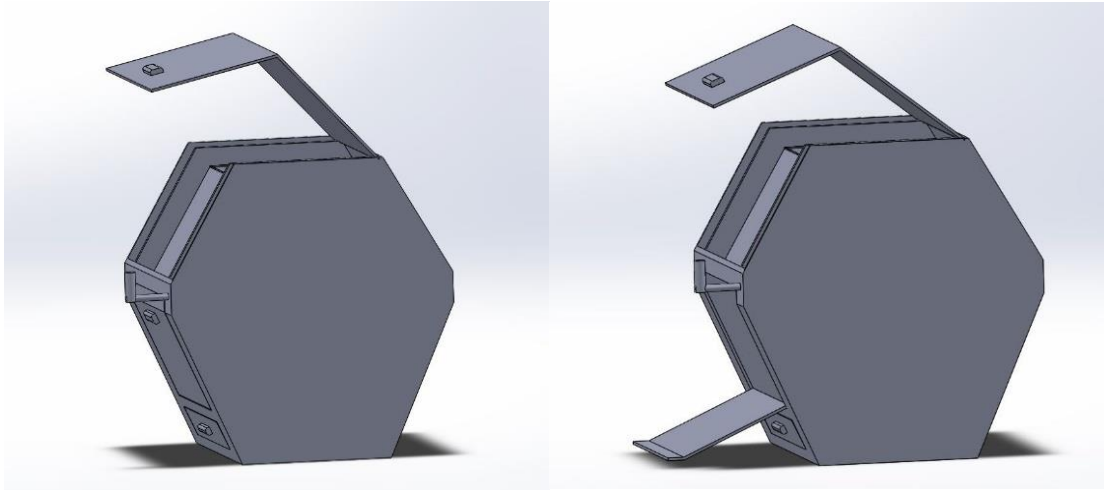


Figura 41. Sistema de cargue/descargue del mecanismo.

A partir del método GINSHT, Se evalúa la carga mínima recomendable para realizar dichas actividades sobre la propuesta del fermentador.

Como se observa en la figura 39, el peso aceptable, dadas las condiciones de carga y descargue del producto, es de 19 kg. Ahora bien, considerando que que la cantidad de cacao que se requiere levantar es de 12 kg, 7 kg, las condiciones estan por debajo del límite recomendado, es decir no existe riesgo de carga física para las actividades analizadas.

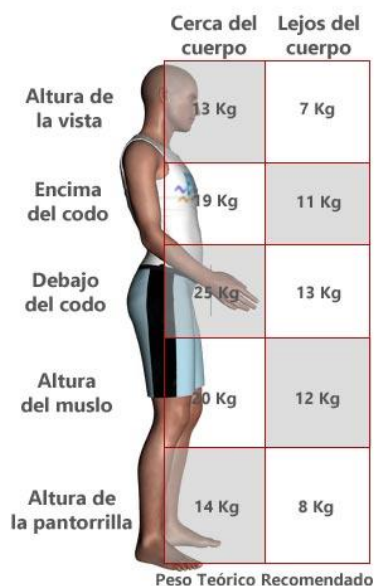


Figura 42. Peso teórico en función de la zona de manipulación. Fuente: ergonautas. Disponible en: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/ginsht/ginsht-ayuda.php>

6 Verificación

Con base a todos los aspectos analizados anteriormente, se diseñó y desarrolló el prototipo final. La figura 40 muestra el prototipo funcional con el cual se llevaron a cabo las pruebas de verificación. En la siguiente imagen, se enuncian ciertas especificaciones del concepto final.



Figura 43. *Prototipo final.*

6.1 Materia prima.

Para la comprobación de este prototipo, se utilizaron los tres tipos de grano de cacao, forastero, criollo y trinitario, producidos en el terreno gato negro, en la región de Betulia, Santander. Los agricultores, fermentan mediante cajas de madera, sin tener ningún tipo de control

de temperatura y realizando el volteo de forma manual y con ayuda de trozos de madera en forma de pala, pero igualmente, sin un protocolo establecido.

6.1 Procedimientos analíticos.

6.1.1 Temperatura. Las muestras de temperatura de la masa de cacao se realizaron mediante el termómetro posicionado al interior de la masa y teniendo como punto de comparación la temperatura ambiente, tomando las muestras a partir de las, 48, 72, 96, 120, 144 y 18 h del proceso de fermentación.

6.1.2 pH. El pH de la pulpa de cacao, se determinaron haciendo uso de papel medidor de pH, con las mismas frecuencias que la temperatura, a las: 0, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h de fermentación.

6.2 Procedimientos analíticos

6.2.1 Resultados

6.2.1.1 Relacionados con la Temperatura. Después de registrar los datos en el proceso de fermentación del prototipo funcional del proyecto, se encontró que la temperatura más alta de la masa de cacao (41.9°C) se produjo una vez transcurridas las primeras 96 hrs de fermentación (Tabla 7). Se compararon los datos registrados por este proyecto con los obtenidos por Delgado

R., y Lazarte J., en su estudio: “Diseño de fermentador de cacao automático basado en proceso tradicional”.

Tabla 5. *Temperatura de la masa de cacao y el ambiente durante la fermentación del prototipo funcional.*

Tiempo de fermentación (h)	Resultados cámara de fermentación		Resultados Delgado R., y Lazarte J
	Temperatura de la masa	Temperatura ambiente	Temperatura de la masa
0	26.6	26	28
48	35.7	25	33 - 34
72	40.0	27.2	33 - 34
96	41.9	27.5	35
120	41.5	25.3	40
144	36.3	24.7	25 - 28
168	28.3	24	25 - 28

Fuente: Adaptado de Diseño de fermentador de cacao automático basado en proceso tradicional (Delgado R., y Lazarte J.) (Elaboración propia).

En la tabla se puede observar que la temperatura de nuestro sistema de fermentación obtuvo su temperatura máxima (41.9°C) a las 96 horas (tabla 7), incluso muy cercana a la fermentación manual en cajas de madera que se realiza para 250 kg que a hoy, representa la cantidad mínima de fermentación para lograr temperaturas de hasta 50°C. Ahora bien, autores como Enrique (1985;

citado por Prtillo et al, 2005), establece que la temperatura máxima se encuentra entre un rango de 42 a 45 °C, valor al que nuestro sistema logró alcanzar. Sin embargo, es necesario que las actividades futuras del proyecto macro, continúen realizando verificaciones del sistema, para determinar las condiciones ideales en términos de temperatura y tiempo de fermentado, dados sus aspectos técnicos y formales diferentes a los existentes.

6.2.1.2 Relacionados con el Ph. Con respecto al pH, en la fase anaeróbica (primeras 48 horas), el pH debe ser entre 4.5 a 6.4, mientras que en la fase aerónica, el pH debe disminuir a valor cercano a 3 de acuerdo al estudio de “Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao” de Teneda, W, 2016.

Tabla 6. *Variación del pH de los granos de cacao durante la fermentación.*

Tiempo de fermentación (h)	Resultados cámara de fermentación	Resultados Delgado R., y Lazarte J
	Pulpa	Pulpa
0	6	6.00
48	3	4.70
72	5	3.37
96	4	3.75
120	4	3.75
144	4	3.75
168	4	3.37

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los resultados obtenidos, con el estudio de Delgado R., y Lazarte J., los nivel de pH estuvieron un poco más alto. Sin embargo, cabe resaltar que para la medición de esta variable se usó papel, lo que representa valores poco exactos. Sin embargo, los datos concuerdan con los propuestos por Teneda (2016), se puede ver en la tabla 9, que los niveles de pH se mantuvieron en niveles normales

Al igual que los análisis de temperatura, las investigación futuras deben contemplar un estudio más largo que permita encontrar los parametros de fermentado óptimos para esta neuva propuesta de fermentador.

6.2.1.3 Comparación de resultados. Dando respuesta a nuestra pregunta de diseño: ¿Cuál es la diferencia en términos de calidad del grano fermentado en condiciones controladas o mediante método tradicional?. Se realizó un comparativo una vez finalizada la etapa de secado de los granos.

Tabla 7 Protocolo de fermentación

PROTOCOLO DE FERMENTACIÓN	
CONDICIONES CONTROLADAS	MÉTODO TRADICIONAL
Contenedor: Cámara de fermentación	Contenedor: Caja de madera
Tiempo de fermentación: 7 días	Tiempo de fermentación: 7 días
Control de temperatura: Cada 24 horas	Control de temperatura: No se realizó
Control de pH: Cada 24 horas	Control de pH: No se realizó
Hermetismo: Cajón cerrado-doble pared	Hermetismo: Cubierto por un costal
Volteo: Cada 24 horas	Volteo: Cada 24 horas
Método de secado: 5 días al sol	Método de secado: Horno a 60°C por cuatro días

Fuente: Elaboración propia

La comparación de los granos, se realizó según: “guía 8: cosecha, fermentación y secado del cacao” de la caja de herramientas para cacao. Según el cual, un cacao fermentado y beneficiado de forma correcta, tendría las siguientes características:

Tabla 8 Comparación de resultados

COMPARACIÓN DE RESULTADOS		
CARACTERISTICAS DEL GRANOS SECO	CÁMARA	TRADICIONAL
Forma	Bien fermentado: Hinchado	
	Faltó fermentado: Algo aplanado	
	Sin fermentar: Aplanado	
Color del grano por fuera	Bien fermentado: Café oscuro	
	Faltó fermentado: Amarillo claro/rojizo	
	Sin fermentar: Blanquecino/rojizo	
Color del grano por dentro	Bien fermentado: Chocolate/café claro	
	Faltó fermentado: Cenizo/morado	

Sin fermentar:

Violeta



Fuente: Elaboración propia

Según la tabla anterior, se puede evidenciar la notable diferencia en cada uno de los atributos de los granos, ya que, el grano fermentado bajo condiciones controladas cumple con los estándares de un grano correctamente fermentado. Ya que, presenta granos hinchados, con un tono café oscuro en su exterior y chocolate/café claro en su interior.

Las tablas anteriores muestran resultados favorables ya que se evidencia una mejora significativa en cada una de las características de un grano correctamente fermentado. Mediante estos resultados, se ofrece una nueva solución técnica para cumplir a cabalidad con los protocolos de fermentación y obtener como resultado granos de calidad a pequeña escala. Ya que, para esta comprobación final se fermentaron 12 kg de cacao, siendo esta cantidad, el límite mínimo posible de fermentación para cumplir con los estándares de calidad. Sin embargo, nuestro sistema permite escalar la cantidad de cacao a fermentar de 12 kg a 50 kg.

7 Concepto final

7.1 Ficha técnica

FUNCIONAMIENTO

Fermentador de cacao, que permite fermentar hasta 50 kg. Controlando su temperatura constantemente, permite hacer un volteo de los granos por medio de un mecanismo de yugo escocés así como también recolecta el lixiviado generado en este proceso. Al tener doble pared permite aislar los granos de agentes externos tales como: humedad, rayos solares, animales, entre otros.

Posee un mango de accionamiento ambidiestro y una pared interna en el tambor fermentador para ajustarlo a la carga deseada.





PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Peso: 26,97 kg
- Medidas del fermentador: 100*60*70 cm
- Accionamiento mecanismo: Ambidiestro
- Capacidad máxima: 50 kg
- Capacidad mínima: 12 kg

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

MATERIALES

- Tambor fermentador: Cedro
- Armazon: Triplex Otobo 15mm
- Ejes internos: Acero Inox AISI 304
- Mecanismo: Acero AISI 1518
- Bandeja lixiviados: Vidrio 4 mm

MANTENIMIENTO

Se debe limpiar y raspar el interior del tambor fermentador cada vez que se fermente.

El mecanismo general no requiere de mantenimiento excepto las chumaceras, aceitar los rodamientos cada 6 meses.

En general evitar que se queden granos fermentados en el interior de la máquina.

La estructura de los perfiles, en lo posible evitar que se mojen, al igual que los tableros de triplex de las cubiertas.

Figura 44. Ficha técnica del prototipo final.

7.2 Costos de fabricación.

El costo de fabricación de la cámara de fermentación de semillas de cacao en condiciones controladas para economía familiar tiene un costo aproximado de \$1'200.000. Dado que es un primer prototipo.

Tabla 9. Costos de producción del dispositivo.

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	VALOR UNITARIO COP	VALOR TOTAL COP
ANGULO A36 1/8" X 1" X6M (7,15 KG)	3	Acero	\$18.600	\$69.315
GOLOSA AVELLAN INOX 8X1 1/2 "	25	Acero Inox		\$6.250
PIE CEDRO HOY	33	Madera	\$2.000	\$67.000
TRIPLEX OTOBO 15MM	1	Triplex		\$88.000
SOLDADURA 6013X1/8 SOLTRODE	1 kg	Soldadura	\$7.500	\$7.500
PLATINA 1X1/8 INOX 304	0,5 m	Inox	\$11.344	\$5.672
PLATINA 2X1/8 INOX 304	0,3m	Inox	\$17.647	\$5.294
TUBO REDONDO 1" C18 INOX	0,36	Inox	\$10.084	\$6.403
DISCO CORTE TRONZADORA	1			\$16.500
TORNILLO DRYWALL 6X3/4	100		\$20	\$2.000
TORNILLO DRYWALL 8X3/4	50		\$40	\$2.000
TEFLON BARRA	0,08 M	TEFLON		\$8.000
CHUMACERA	2		\$17.500	\$35.000
TUBO	5M	ACERO		\$49.500
CAJON DE LIXIVIADOS	CAJON	VIDRIO		\$18.000
BISAGRA COMUN 2 1/2	1	METAL		\$2.200
BISAGRA COMUN 2 1/2	3	METAL		\$4.000

BATERIA CUADRADA	1			\$9.000
MEDIDOR DE PH	1	PAPEL		\$12.000
GUANTE COCINA	2	PLASTICO	\$1.900	\$3.800
MANIJAS	3	METAL		\$11.400
LIJAS	2		\$2.000	\$4.000
PINTURA	1	Anticorrosivo		\$12.000
PLATINA ACERO	3	Acero	\$1.000	\$3.000
EJE 1"	2	Acero	\$2.500	\$5.000
COLBON MADERA	1			\$8.000
TORNILLOS				\$10.000
Tornillos acero inoxidable 1/3/4 de plg 14				
Tornillos 3/8 acer inoxidable de plg 6				
Tornillo especial eje acero carbonado 3/8 de plg por 3 plg				
Tornillos para madera acero inoxidable 1/3/4 de pulg 10				
Tornillos para madera acero inoxidable 1 plg 10				
Arandelas para tornillo de 3/8 acero inox				
Tuercas para tornillo de 3/8 acero inox				
SOLDADURA 6013x1/8 Soltrode	1kg			\$6.000
SERVICIO DE CORTE	1			\$5.000
DISCO CORTE PULIDORA	2		\$4.000	\$8.000
DISCO DE CORTE	1			\$5.000

IMPRESIÓN PLANOS PLIEGO	1			\$4.000
TERMOMETRO DE COMIDA REF JR-1 LISAJOM	1			\$22.000
MANO DE OBRA FERMENTADOR	1			\$700.000
			TOTAL	\$1.220.834
OTROS GASTOS				
ACARREOS	6			\$81.000
MODELADO CAD Y PLANOS	1			\$100.000
ALARMA	1			\$40.000
			TOTAL	\$221.000
			TOTAL NETO	\$1.441.834

7.3 Diagrama funcional

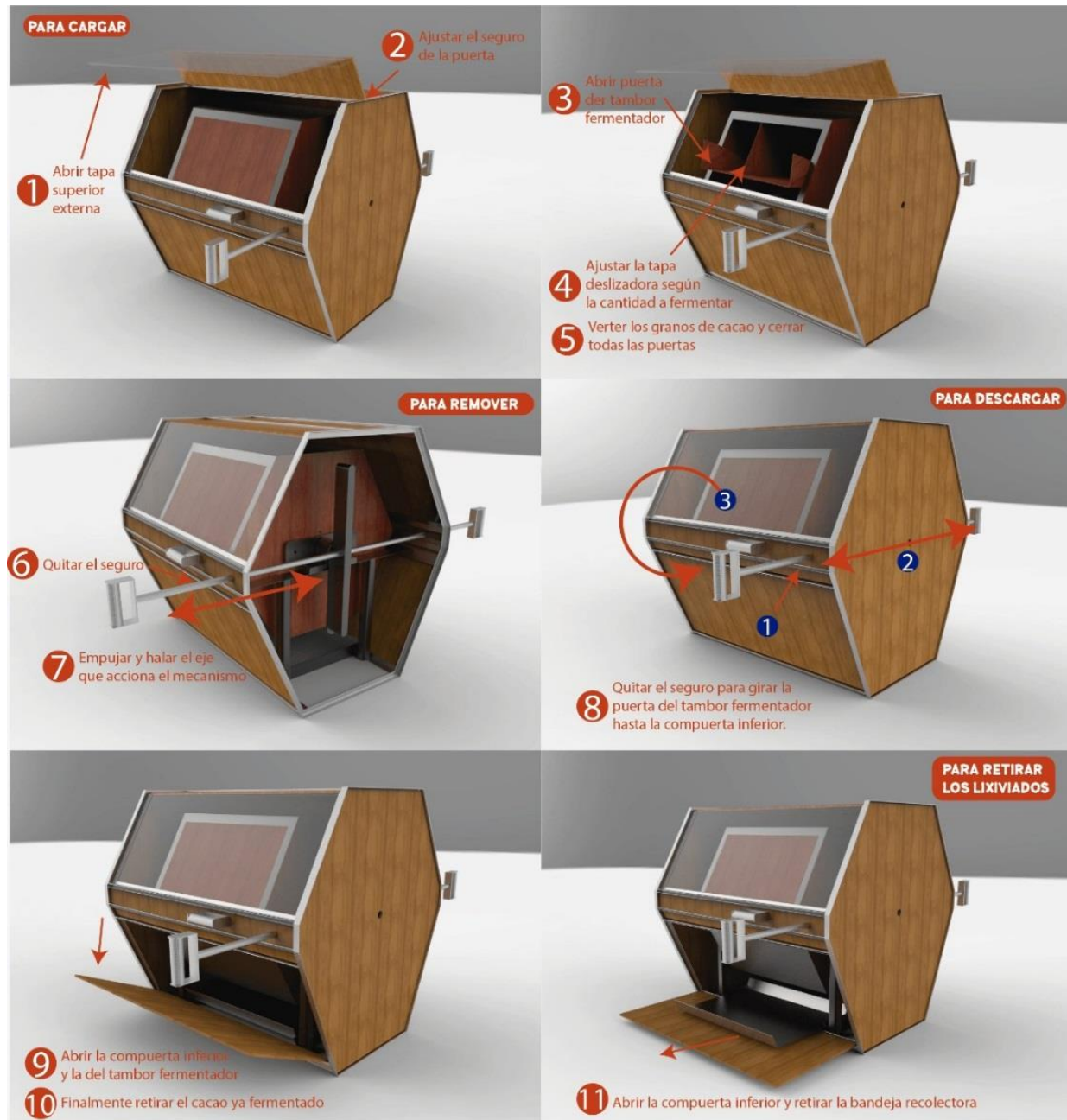


Figura 45. Diagrama de uso del prototipo final

7.4 Diagrama de usuario

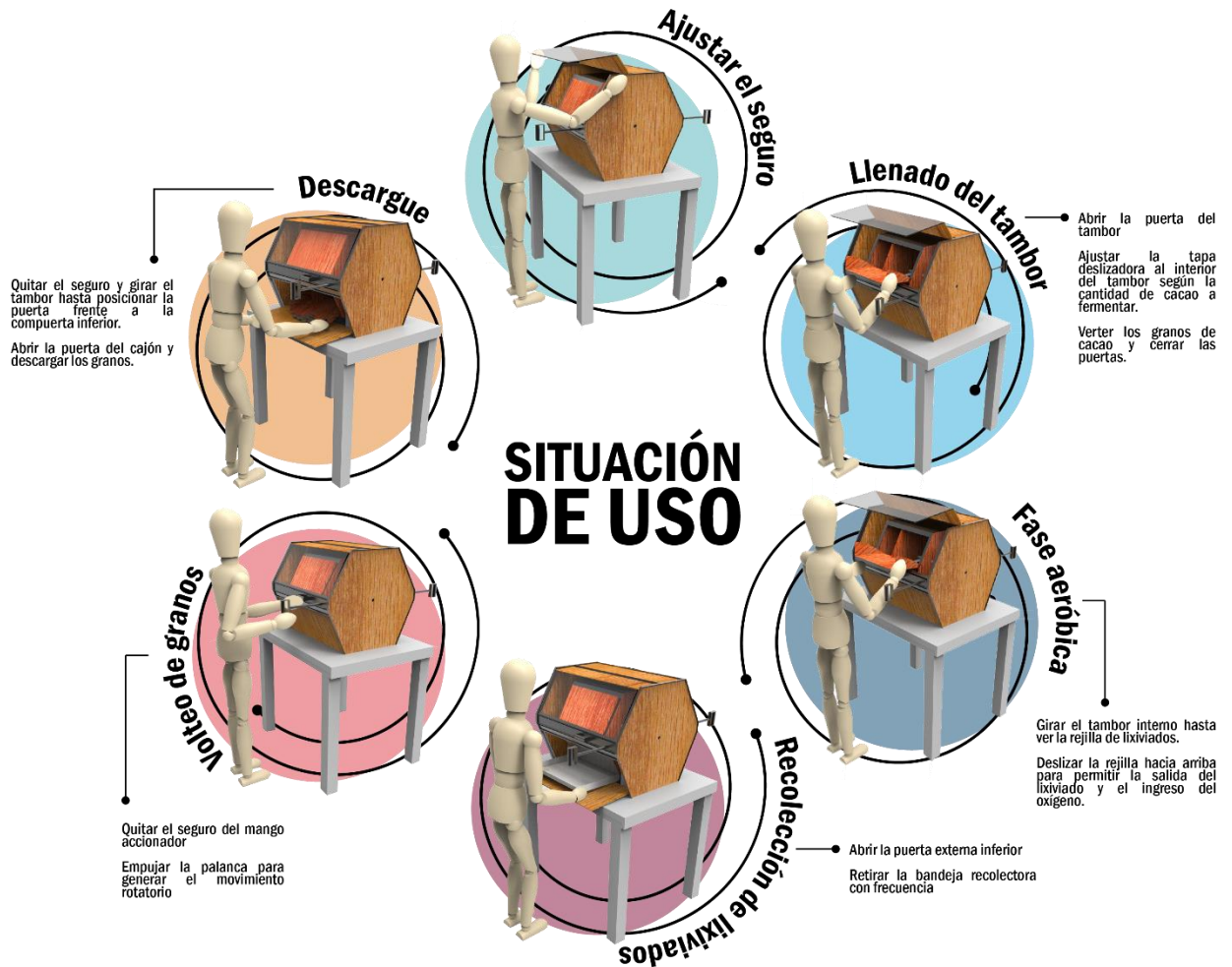


Figura 46 Situación de uso del prototipo final

8 Conclusiones

En el inicio de este estudio, se realiza con visitas técnicas en la región de Santander (Carmen del Chucurí y Betulia), buscando analizar los procesos, herramientas y áreas que desarrollan los cacaocultores durante el proceso de fermentación del cacao. Esta primera etapa se realizó mediante entrevistas, fotografías y observación de los campos. De estos acercamientos, se pudo determinar que los cultivadores no cuentan con un protocolo establecido para el proceso de fermentación y por el contrario, depende de las costumbres y tradiciones. A partir del diagnóstico, se analizó la

literatura para determinar aquellas variables que podrían controlarse para ayudar a mejorar la calidad de granos de cacao que actualmente se están produciendo.

Una vez finalizado el análisis bibliográfico y las soluciones actuales, se determinó el control y análisis del pH, temperatura y volteo de los granos según los protocolos de fermentación. Establecido lo anterior y con el apoyo de un grupo de expertos se desarrollaron diversas reuniones con el fin de determinar los requerimientos del dispositivo y la selección del concepto que cumpliera con el mayor número de requerimientos y que permitiera la comprobación de las variables anteriormente mencionadas.

Después de seleccionar el concepto mediante la evaluación a partir de una matriz QFD “Quality Function Deployment”, se desarrolló una primera maqueta a escala que permitió la evaluación ergonómica, la interfaz del dispositivo y el correcto accionamiento del mecanismo. A partir del cual, se construyó el prototipo funcional final a escala real, que obtuvo un resultado de aceptación alto, permitiendo facilitar la acción de cargue y descargue.

Con el fin de validar el diseño propuesto y dando respuesta a la pregunta de diseño planteada: ¿Cuál es la diferencia en términos de calidad del grano fermentado, entre el método tradicional y una cámara con condiciones controladas?, se inició el proceso de fermentación con 12 kg de cacao provenientes de la parcela “gato negro”, lugar de estudio para el desarrollo de nuestro nuevo dispositivo. Los datos obtenidos muestran que los niveles de temperatura estuvieron en el límite inferior de según algunos autores (41.9°C) pero dentro de los límites aceptables. Asimismo el pH estuvo en un rango bajo entre 3 y 4, que es evaluado como un grano bien fermentado y decuado para la generación de los precursores del sabor.

Esta propuesta se originó como una alternativa nueva de diseño, que permitiera a los pequeños productores de escala familiar, fermentar cacao con unas mejores condiciones de control

de temperatura, Ph y volteo, considerando las restricciones de cantidad producida en estas fincas. Asimismo, mejorar las condiciones de asepsia para un cacao fermentado libre de contaminantes biológicos y ambientales. Con base en esto, el trabajo de grado ofrece una nueva alternativa a estos pequeños productores para fermentar en mejores condiciones, propendiendo por un cacao de mejor calidad.

Aunque al comparar los resultados de temperatura y Ph de este fermentador, con otros estudios no son concluyentes, el proyecto si encuentra que se mantiene dentro de los parámetros establecidos por la literatura. Por tanto, es importante que el proyecto de investigación macro en el que se anida este trabajo de grado, siga verificando las condiciones del fermentador para encontrar los parametros más adecuados, que relacionen tiempo con temperatura y ph propios de las caracterísitcas técnicas y formales de éste.

8.1 Limitaciones

Una de las limitantes para el desarrollo del proyecto fue el tiempo de espera para lograr la capacidad máxima de llenado del tambor por parte del cultivo de la zona. Por otro lado, las mazorcas enviadas por parte de los cacocultores tenían tiempos de corte diferentes, lo que alteró los tiempos de fermentación de los mismos. Igualmente, los 12 kg de cacao venían con mazorcas de las tres especies: criollo, forastero y trinitario. Los cuales, tienen un tiempo de fermentación distinto.

Por último, para realizar la comparación entre los granos fermentados mediante la cámara de fermentación de semilla de cacao en condiciones controladas para economía familiar y un grano fermentado mediante el método tradicional, se requería del control de la etapa de secado de los granos, proceso que se encuentra fuera de nuestra área de estudio y del cual no tenemos mucha información.

8.2 Recomendaciones

Es necesario que las actividades futuras del proyecto macro, continúen realizando verificaciones del sistema, para determinar las condiciones ideales en términos de temperatura y tiempo de fermentado, dados sus aspectos técnicos y formales diferentes a los existentes.

Referencias bibliográficas

- Abdul Samah, O., Ibrahim, N., Alimon, I., & Abdul Karim, M. . (1993). Fermentation studies of stored cocoa beans. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 9(5). Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00386306>
- Agronet. (2017). 3er Censo Nacional Agropecuario. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Afoakwa, EO, Paterson, A., Fowler, M. y Ryan, A. (2008). Formación de sabores y carácter en el cacao y el chocolate: una revisión crítica. *Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición* , 48 (9), 840-857.
- Arévalo Peña, M. (2017). El mundo quiere el cacao santandereano. Retrieved from <http://www.elfrente.com.co/web/index.php?ecsmodule=frmstasection&ida=58&idb=107&idc=7666>
- Aprotosoiaie A, Vlad Luca S., Y Miron A. (2015). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview
- Cadena Productiva Cacao - Area, Producción Y Rendimiento. (2017). Retrieved from <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/cacao-santander/haeq-jfgr/data>
- Clavijo Lemus, M. A., & Ardila Saavedra, P. A. (2015). Eficiencia Económica en la Producción de Cacao en Rionegro-Santander, 85. Retrieved from <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1066/2015-ClavijoLemus%2CMairaAlejandra-Trabajodegrado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comunicaciones Fedecacao. (2018). Fedecacao presente en macrorrueda de negocios. Retrieved from <https://www.finagro.com.co/noticias/fedecacao-presente-en-macrorrueda-de-negocios>
- Contreras Pedraza, C. A. (2017). Análisis de la cadena de valor del cacao en Colombia: generación de estrategias tecnológicas en operaciones de cosecha y poscosecha, organizativas, de capacidad instalada y de mercado, 221. Retrieved from [http://www.bdigital.unal.edu.co/59141/1/1032373448-2017_\(Jairo_Mantilla_Blanco,_2000\).pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/59141/1/1032373448-2017_(Jairo_Mantilla_Blanco,_2000).pdf)
- Delgado R., Lazarte J., (2018) Diseño de fermentador de cacao automático basado en proceso tradicional
- Dubón, A. (2016). Protocolo para el Beneficiado y Calidad del Cacao. *Fhia*, 18. Retrieved from http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/Protocolo_para_el_Beneficiado_y_Calidad_d_el_Cacao_2016.pdf
- E. Portillo, M. Labarca, L. Grazziani, E. Cros, S. Assemat, F. Davrieux³, R. Boulager (2011). Influence conditions of the post-harvest treatment on the temperature and acidity in beans of Criollo cocoa (*Theobroma cacao* L.)
- Espinal G, C. F., Martínez C, H. J., & Peña M, Y. (2005). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia Documento de Trabajo No . 61. *Min. Agricultura y Desarrollo Rural, Obs. Agrocadenas Colombia*, (58), 40.

- FAO, FIDA, & PMA. (2013). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2013. Las múltiples dimensiones de la seguridad alimentaria. Actividad Dietética*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/019/i3434s/i3434s.pdf>
- FEDECACAO. (2017). Estadísticas y recaudo. Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/551-en-2017-colombia-alcanzo-nuevo-record-en-produccion-de-cacao>
- J. Rodriguez-Campos (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa
- Jiménez Barragán, J. C. (1998). *Efecto de dos métodos de fermentación sobre la calidad de tres grupos de cacao Theobroma cacao L.* Universidad Estatal de Bolívar. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=eetp3.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000622>
- Lambert, S. (2010). Fermentación del cacao - aspecto generales. Retrieved from http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19_Fermentacion_del_Cacao.pdf
- Loayza Lozano, W. (2014). Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao (*Theobroma cacao*, L.) de Satipo.
- Lizarralde, R. D. (2014). Informe de rendición pública de cuentas: Gestión 2013 - 2014, 0–72.
- Maisincho, M. (2006). Fermentación de cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51 inoculando *Acetobacter*, 79.
- Mantilla Blanco, J. Arguello Angulo, A. L. Méndez Aldana, H. (2000). Caracterización y tipificación de los productores de cacao del departamento de Santander. *Biblioteca Agropecuaria de Colombia*, 40.
- Mojica Pimiento, A., & Paredes Vega, J. (2006). Características del cultivo del cacao en Santander. *Ensayos Sobre Economía Regional*, 1(7), 1--38.
- Nielsen, D. S., Teniola, O. D., Ban-Koffi, L., Owusu, M., Andersson, T. S., & Holzapfel, W. H. (2007). The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of Food Microbiology*, 114(2), 168–186. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2006.09.010>
- Oliveros, D., & Pérez, S. (2013). Medición de la competitividad de los productores de cacao en una región de Santander – Colombia* Measurement the Competitiveness of Cocoa Farmers in Santander, Colombia. *Revista Lebre*, (5), 243–267. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15332/rl.v0i5.832>
- Orcés, N., & Pazmiño, A. (2012). Mejoramiento de las Características Sensoriales del Cacao CCN51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación. *Escuela Superior Politécnica Del Litoral*, 135. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31173>
- Osorio Guarín, J. A., Berdugo Cely, J., Coronado, R. A., Zapata, Y. P., Quintero, C., Gallego Sánchez, G., & Yockteng, R. (2017). Colombia a Source of Cacao Genetic Diversity As

- Revealed by the Population Structure Analysis of Germplasm Bank of *Theobroma cacao* L. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5702303/>
- Pabón, M., Herrera-Roa, L., & Sepulveda, W. (2016). Caracterización socio-económica del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38, 283–294.
- Pinzón Useche, J. O., Rojas Ardila, J., Cacaoteros, F. N. de, & PRONATTA, C. N. de T. de T. –. (1998). Guía técnica para el cultivo del Cacao. Retrieved from <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/3666>
- Producción de cacao impone nueva marca en Colombia. (2017). Retrieved from <https://www.laopinion.com.co/economia/produccion-de-cacao-impone-nueva-marca-en-colombia-132696#OP>
- Ríos, F., Ruiz, A., Lecaro, J., & Rehpani, C. (2017). *Proyecto promoción de la producción y exportación de cacao fino de aroma de Colombia COEXCA*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas, F., & Sacristan Sanches, J. E. (2013). Guía ambiental para el cultivo del cacao, (2), 1–126.
- Sánchez Vargas, A. D. P., Castellanos Domínguez, O. F., & Domínguez Martínez, K. P. (2008). Mejoramiento de la poscosecha del cacao a partir del roadmapping. *Revista Ingeniería e Investigación*, 28(3), 150–158.
- Schwan, R., & Wheals, A. (2010). The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- SIIC. (2011). Sector agrícola - Cacao. Retrieved from <http://www.sic.gov.co/mapoteca/sector-agricola-cacao>
- SIOC. (2016). Cifras Sensoriales. Retrieved from https://sioc.minagricultura.gov.co/aguacate/documentos/forms/allitems.aspx?paged=true&pagedprev=true&p_sortbehavior=0&p_fileleafref=002+-+cifras+sectoriales+-+octubre.pdf&p_id=53&rootfolder=/aguacate/documentos/002+-+cifras+sectoriales&pagefirstrow=6451&&
- Torres M., F. A., & Rodríguez B., D. L. (2015). *Análisis de la adopción de tecnología mejorada para la producción de cacao en el municipio de Rionegro - Santander*. Universidad Santo Tomas, Bucaramanga.
- UNED – Unidad de Prevención de Riesgos Laborales Edificio Rectorado. C/ Bravo Murillo, 38. 28015. Madrid Links: http://portal.uned.es/pls/portal/docs/PAGE/UNED_MAIN/LAUNIVERSIDAD/VICERRECTORADOS/GERENCIA/RECURSOS%20HUMANOS/SALUD-LABORAL/PROCEDIMIENTOS%20NORMATIVA%20CONSEJOS%20SEGURIDAD/CONSEJOS%20DE%20SEGURIDAD/RELACION%20CONSEJOS%20SEGURIDAD/C509%20-%20ERGONOMIA%20HERRAMIENTAS%20MANUALES.PDF
- Varela, A. M. (2017). La producción actual de cacao en Colombia no es para enorgullecerse. Retrieved from <https://www.dinero.com/economia/articulo/produccion-de-cacao-en-colombia-no-es-para-enorgullecerse-angelica-varela/242690>