

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



Una Institución Adventista

**Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de
Cacao (“Theobroma cacao L”)**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería de Sistemas

Autor:

Jonathan Gerhard Rios Jara

Asesor:

Dr. Miguel Ángel Valles Coral

Tarapoto, 20 Diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Miguel Ángel Valles Coral, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (“Theobroma cacao L”)** constituye la memoria que presenta el estudiante Jonathan Gerhard Rios Jara, para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería de Sistemas, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 20 días del mes de diciembre del año 2020



Dr. Miguel Ángel Valles Coral

012

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



En San Martín, Tarapoto, Morales, a 20 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 09:00 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión, campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a) Mg. Immer Elias Cuellar Rodriguez

secretario(a) Mg. Nancy Esther Carilda Bedon y los demás miembros: Mg. Danny Levano Rodriguez

y el (la) asesor (a) Dr. Miguel Angel Vallis Coral

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado:

Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de cacao (Theobroma cacao L.)

de los (las) egresados (as): a) Jonathan Gerhard Rios Jara b)

Ingeniería de Sistemas (Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato (a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato (a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Jonathan Gerhard Rios Jara

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al candidato (a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a _____ Secretaria _____

Asesor/a _____ Miembro _____ Miembro _____

Candidato/a (a) _____ Candidato/a (b) _____

Resumen

Lograr las mejores características organolépticas en el grano de cacao resultante, implica un adecuado tratamiento, mejores prácticas aplicadas y la incorporación de un tipo de fermentador que garantice el éxito del proceso. En esta investigación se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica de las mejores prácticas para la construcción y uso de prototipos de fermentación en artículos publicados por países que tienen por excelencia la obtención de granos de calidad. Presentamos de manera organizada los resultados de dispositivos o prototipos fermentadores que han sido utilizados para mejorar los resultados del proceso de fermentación, publicados en revistas científicas indexadas en Latindex, Scielo y de preferencia Scopus, con un alto factor de impacto. Se encontraron tres tipos de fermentador, con diferentes características, inversión para su implementación y distintos resultados en la obtención de la calidad organolépticas del cacao. Se ha identificado que el dispositivo con mejores resultados es el de tambor giratorio ya que se adecúa a las características del proceso de fermentación que se realiza en la Región San Martín, Perú.

Palabras clave: cacao, chocolate, dispositivos, fermentación, mecatrónicos, organolépticas.

Abstract

Achieving the best organoleptic characteristics in the resulting cocoa bean implies an adequate treatment, best practices applied and the incorporation of a type of fermenter that guarantees the success of the process. In this research, an exhaustive bibliographic review of the best practices for the construction and use of fermentation prototypes has been carried out in articles published by countries that have quality grains par excellence. We present in an organized way the results of fermenting devices or prototypes that have been used to improve the results of the fermentation process, published in scientific journals indexed in Latindex, Scielo and preferably Scopus, with a high impact factor. . Three types of fermenter were found, with different characteristics, investment for their implementation and different results in obtaining the organoleptic quality of cocoa. It has been identified that the device with the best results is the one with a rotating drum, since it is adapted to the characteristics of the fermentation process carried out in the San Martín Region, Peru.

Keywords: cocoa, chocolate, devices, fermentation, mechatronics, organoleptic.

Resumo

A obtenção das melhores características organolépticas no grão de cacau resultante implica um tratamento adequado, a aplicação de boas práticas e a incorporação de um tipo de fermentador que garanta o sucesso do processo. Nesta pesquisa, foi realizada uma exhaustiva revisão bibliográfica das melhores práticas para a construção e uso de protótipos de fermentação em artigos publicados por países que possuem grãos de qualidade por excelência. Apresentamos de forma organizada os resultados de dispositivos de fermentação ou protótipos que têm sido utilizados para melhorar os resultados do processo de fermentação, publicados em revistas científicas indexadas no Latindex, Scielo e preferencialmente Scopus, com alto fator de impacto. Foram encontrados três tipos de fermentadores, com características distintas, investimento para sua implantação e resultados distintos na obtenção da qualidade organoléptica do cacau. Identificouse que o dispositivo com melhores resultados é aquele com tambor rotativo, visto que se adapta às características do processo de fermentação realizado na Região de San Martín, Peru

Palavras-chave: cacau, chocolate, dispositivos, fermentação, mecatrônica, organoléptico.

1 Introducción

El cacao ("*Theobroma cacao L*") es un cultivo ampliamente difundido en la región amazónica tropical de Colombia, Ecuador, Perú y Brasil según [1], [2] y [3]. Es una de las especies que se considera la más explotada comercialmente y uno de los productos agrícolas de mayor importancia económica, tanto a nivel local, nacional y mundial [4],[5].

La calidad del sabor del cacao se desarrolla además a partir de la fermentación, secado y buenas prácticas agroindustriales aplicadas como expresa [6] y [7]. Sin embargo las practicas mal realizadas en el proceso de fermentación de cacao por lo general bajan la calidad y dan paso a enfermedades como señala [8]. Por ende son actividades determinantes para la obtención final de un sabor refinado del cacao como menciona [9] , en donde se desarrollan los precursores del sabor y el aroma que son característicos del chocolate según afirma [10][11] y [12]. En la práctica los métodos que se utilizan para la fermentación, respecto al tiempo al cual se realiza, frecuencia de remoción, secado y las condiciones ambientales atmosféricas de la ubicación geográfica según [13], varían entre países, regiones y entre los agricultores del mismo sector, los cuales son determinantes para la calidad y a la par condicionan el precio por el mismo como expresa [2][14].

Las investigaciones realizadas en los procesos en la cual se ha visualizado la transformación del cacao son diversas y todas tienen la finalidad de mejorar el proceso de fermentación del cacao en sus atributos sensoriales, para así poder facilitar los procesos de transformación dentro de los sistemas de producción industrial, artesanal e incluso en lo gastronómico de acuerdo [15] y [16]. Una

forma de lograr la optimización de los sistemas de fermentación es el uso de prototipos de fermentadores de diversos materiales, formas e implementación del uso tecnológico según afirmación de [17], sobre las características fisicoquímicas que se presentan después de la fermentación y teniendo de respaldo la evaluación sensorial como lo mencionan [18],[19] y [20] .

De acuerdo a la revisión realizada con respecto al tipo de fermentador adecuado para aprovechar de manera máxima los precursores organolépticos del cacao como expresa [2], se han estudiado tipos de fermentadores tales como de acero inoxidable, de forma cilíndrica, caja cuadrada tradicional, realizada en madera y tambor giratorio de madera, en donde se pudo visualizar diferentes resultados entre estos tipos de fermentadores, todo esto en beneficio para asegurar la obtención benéfica eficaz organoléptica del cacao [21].

Como beneficio para el proceso de fermentación con el prototipo de fermentador de acero inoxidable, los valores adquiridos con este tipo de fermentador, monitoreado con sistemas de sensores, un software sistematizado y un diseño adecuado [22], se obtuvo mejoras en las condiciones que influyen directamente en la calidad de los granos, como por ejemplo lograr la uniformidad de la temperatura con una adecuada remoción y por consecuencia una buena ventilación de los granos según [23].

De manera que para el fermentador tradicional de madera en forma cuadrada, se vieron desventajas tales como: falta de uniformidad de temperatura durante el

proceso, dificultad para realizar la frecuencia de remoción del grano y la fácil contaminación de las cajas (crecimiento de microorganismos inadecuados contaminantes) [1].

Los procesos agroindustriales que permiten asegurar buena calidad del sabor de cacao en el Perú y sobre todo en la región San Martín, que es una región exportadora por excelencia según las estadísticas [24], se caracterizan porque los procesos de fermentación son los que representan mayor problema para obtener la calidad organoléptica sensorial adecuada, y la deficiente adecuación tecnológica que se existe al realizar el proceso [25].

Según la revisión realizada de los dispositivos fermentadores en cuanto a tipos, características, forma y capacidad, el que mejor se adecua a la deficiente tecnificación agroindustrial en la Región San Martín, es el fermentador de tipo tambor giratorio, metálico de acero inoxidable, que incorpora un diseño de aspas que le permite realizar movimientos peristálticos, simulando el movimiento de un estómago a fin de garantizar homogeneidad en la distribución de la materia prima y alta calidad de las características organolépticas resultantes. Además, este incluye la incorporación de tecnología emergente como sensores de medición como pH, humedad y temperatura que unidos a un software de captura y procesamiento de datos dispara alertas o mecanismos de regulación y control para realizar el movimiento indicado; Esto ayudara a obtener mejores granos de calidad y la rentabilidad como expresa [26] y [27].

En esta investigación se ha realizado una revisión bibliográfica exhaustiva de las mejores prácticas para la construcción y uso de prototipos de fermentación, que han sido realizadas en países que tienen una alta calidad organoléptica del sabor del

cacao y así poder llegar a los estándares adecuados asegurando el éxito del proceso, de manera que logren ser más competitivos en el mercado.

2. Metodología

En esta investigación se ha revisado los aspectos que repercuten sobre la incorporación de dispositivos mecatrónicos fermentadores en la mejora del proceso de fermentación.

Lo que se realizó en primer lugar en la investigación, fue el estudio de los aspectos que los prototipos mecatrónicos influyen en la obtención de un cacao de calidad, en el proceso de fermentación de la producción agrícola del cacao, de manera que comprendió principalmente la revisión de fuentes secundarias, publicaciones de revistas agrícolas e investigaciones del sector productivo del cacao.

En segundo lugar, se han revisado artículos originales de investigaciones ejecutadas en países donde la competitividad del sector cacaotero los ubica como referentes a nivel mundial. De manera parcial, se revisaron diversas tecnologías incorporadas en sus procesos, tales como sensores, prototipos mecatrónicos y software para la captura y procesamiento de datos.

Los artículos que han sido tomados para esta investigación comprenden entre los años 2016 y 2019. Para la búsqueda de la literatura para la elaboración se realizó sobre el tipo básico de información según [28], El medio de búsqueda fue el motor de Google Académico asegurándonos que los artículos están publicados en revistas indexadas mínimamente en Doaj, Latindex Catálogo, Scielo, WoS, IEEE, de preferencia Scopus. Además, nos hemos asegurado de que tengan un alto factor de impacto, el mismo que se verifica por la posición de búsqueda, así como la cantidad de citas realizadas a dichos

documentos de acuerdo a [29] según lo menciona en su investigación.

Para tener en cuenta todo lo ya mencionado y establecido, se obtuvo un total de 46 artículos, donde los cuales comprenden de manera local como extranjera.

3. Desarrollo de la revisión

La fermentación del grano de cacao es una etapa del proceso agroindustrial muy importante como menciona [30], en el que mediante la intervención de levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias acéticas, se desencadena una serie de reacciones bioquímicas que dan como resultado los compuestos llamados “precursores del aroma y sabor” según [31] y [32]. Un cacao con un proceso de fermentación deficiente posee características de sabor desagradables, como astringencia, y una acidez elevada, afectando directamente la calidad eficiente sensorial del grano [33].

Existen diversos factores que influyen sobre el proceso de fermentación entre ellos podemos ver el tipo de cacao, las condiciones ambientales, el almacenamiento de la mazorca, así también como el sistema empleado, el volumen de la masa, el volteo durante el proceso y como más resaltante el tipo de fermentador la cual se va a adecuar para el proceso según [21] y [34], de manera que se pueda aprovechar al máximo el tipo de fermentador, que tenga las características adecuadas y pueda ayudar a asegurar la calidad organoléptica del cacao tal como afirma [35], dentro de estos tipos de fermentadores tenemos: Fermentador de madera forma cuadrada, fermentador de acero, fermentación tambor giratorio.

Características de Prototipos de fermentadores

Fermentador caja de madera: Dentro de la fermentación en cajones de madera que son muy usados en Perú y Ecuador según [36] se tiene dos tipos: fermentación en cajones de madera a un mismo nivel y fermentación en cajones de madera tipo escalera. Los cajones han sido realizados a base de tablones de maderas finas, resistentes a la humedad, tales como: el cedro o nogal, y otras de tipo blando según [37], que carecen de resinas y no desprende sustancias un tanto extrañas que interfieran en la calidad del grano. Las dimensiones para este tipo de fermentadores varían entre las cantidades cuales se desean fermentar según lo menciona [21] en su investigación realizada, para 100 kg de cacao las dimensiones fueron 50 x 50 x 50 cm, para 300 kg fueron 75 x 75 x 75 kg, en el fondo de las cajas se tuvieron ranuras no menores de 0.5 cm, ni mayores de 1 cm, la separación del suelo unos 20 cm y el grosor de la madera debe ser de 2 cm, para poder cubrir los cajones se utilizaron hojas de plátano, sacos de yute, o una lámina de polietileno negro, además de la cubierta que tiene el propio cajón, todo esto con el fin de evitar pérdidas de temperatura. Los cajones de madera tipo escalera están formados por una o varias series de tres cajones, son colocados en diferentes niveles como si se estuviera formando una escalera.

De acuerdo a la revisión realizada según [21] en Tabasco, México y [19] en Venezuela, Brasil y Asia, se emplean este tipo de fermentadores, obteniendo buen desempeño, ya que arroja resultados beneficiosos para el análisis sensorial del cacao, dado a que se pueden obtener porcentajes de cacao bien fermentados, donde se obtuvieron resultados favorables en el porcentaje de ácidos, sabor a fruta y floral como señala [13]. Todo esto va a hacer influenciado por el tipo de cacao y la frecuencia de remoción que se les dé a los granos que vienen siendo fermentados.

En los valores de FR mejor obtenidos en este tipo de fermentador, se encuentran en un rango de 48 a 96 horas, conforme a la investigación de [38] y [39], después de iniciado el proceso de fermentación, puesto que de todo ello dependerá también la uniformidad de fermentación en el proceso.

Existen principales motivos por el cual los productores de cacao suelen usar cajas de madera y no la de otro material, se debe a que en el proceso de fermentación se genera la elevación de la temperatura según [40] en base a su investigación, por la cual, si se utiliza otro material como aluminio o plástico, en la noche se enfría provocando un gradiente de temperatura muy elevado que perjudica la fermentación del cacao, la ventaja que tiene, es que puede fermentar cualquier volumen y ocasiona costos bajos. Un aspecto relevante e importante a tener en cuenta cuando se trabaja con este tipo de fermentadores, es el lugar o espacio en la cual se ubicarán los cajones, estos se deben colocar en sitios cubiertos para así poder mantener la temperatura constante y se pueda mantener una fermentación completa según [41].

Actualmente la fermentación del cacao en este tipo de fermentador, es uno de los más utilizados y el que mejores resultados en cuanto a la calidad del grano ha generado; la mayoría de estudios e investigaciones se han realizado con este tipo de fermentador.

Figura 1-A) Fermentador Cuadrado Madera, B) Fermentador Madera Tipo Escalera.



Fermentador tambor giratorio: Los fermentadores de tambor giratorio son construidos a base de maderas finas, que se han resisten a la humedad tales como: laurel, melina y otras de tipo blando según [42], que carecen de resinas y no desprende sustancias un tanto extrañas que interfieran en la calidad del grano.

Para las dimensiones de este tipo de fermentador, se recomienda que la capacidad máxima para fermentar granos sea de 250 kg, para facilitar la operación y además es equivalente a una hectárea de cacao, o también puede ser equivalente a la cantidad que se desea fermentar, el tipo de fermentador de tambor giratorio consta de un cilindro de 1.0 m de largo por 75 cm de diámetro, equipado de una tapa y dos paredes laterales. Es en base a listones de madera de 7 cm de ancho y 3 cm de espesor. El cuerpo del tambor debe reforzarse con cintas para evitar que ocurra una deformación. La tapa del fermentador debe tener un tamaño de 35 cm de ancho como mínimo según [21], el tambor tiene un diámetro de 75 cm y 4,5 de espesor, en el centro del fermentador tiene un orificio, en donde encaja la balinera que permite la rotación del eje.

Consta también de un eje sobre cual se distribuye las paletas para la remoción. Está equipado también de 4 palancas que están ubicadas en uno de los lados del tambor sobre el lateral de la pared, tienen 60cm de longitud y se utiliza para dar vueltas al tambor.

La manivela se utiliza para darles vueltas al eje y su ubicación es en los extremos, la longitud es de 1.20 m y debe ser resistente a la fuerza aplicada por el operario. El freno del tambor es un pasador de hierro que permite que el tambor pueda mantenerse estático o quieto, para que el operario pueda cargarlo y descargarlo. Este tipo de fermentador contiene una base, que consta de pilares o columnas de madera o cemento con la capacidad suficiente para soportar 250 kg. Del piso al eje del tambor se recomienda una altura de 80 cm.

De acuerdo a la revisión realizada según [42] en Ecuador, el desempeño de este tipo de fermentador, se caracteriza por que permite obtener mejor calidad y rendimiento del grano que se está fermentando, puesto que existe disminución de riesgos de que el barril sea contaminado, ya que es el diseño es cerrado, que se solo se abre para cargar y descargar la masa. Este tipo de fermentador puede ser cargado y descargado por una sola persona, que pueda remover el cacao cada 24 horas sin ayuda de ningún otro tipo de material, ya que consta de paletas internas que hacen todo el trabajo según.

Uno de los aspectos importantes dentro del proceso de fermentación es el alza de la temperatura y que la masa pueda tener una correcta aireación, por otro lado en la zona central de la masa no se consigue un 100% de fermentación de los granos de cacao, siempre suelen existir un grupo de granos que no obtienen una buena fermentación, es por ello para evitar todo esto, se han ideado los tambores giratorios para la fermentación del cacao y de tal manera que los granos puedan obtener buena aireación en el proceso según lo afirma [11].

En base a la revisión que sea realizado según [43] en Machala Ecuador, afirma que existe resultados que con la incorporación de este dispositivo de fermentación, se visualiza un incremento del 14% de granos bien fermentados; además se pueden obtener granos con mayor volumen, mejor color, olor y textura a comparación de los granos fermentados en cajón.

Sin embargo, son pocas las investigaciones realizadas y publicaciones con respecto a las mejoras del cacao con este tipo de fermentador debido al costo alto.

Figura 2- Fermentador Madera Tambor Giratorio.



Fermentador acero inoxidable: Este tipo de fermentador es en base de acero inoxidable, existen diversos tipos de acero, en las cuales los más utilizados para la industria alimenticia [44] son e AISI304, AISI304L, AISI316 y AISI316LI; de las cuales se usó el AISI316L ya que es resistente a la corrosión localizada, en equipos químicas, petroleras, cubas de fermentación [45] . La estructura de soporte está realizada de tubos cuadrados ASTM A36. Se utilizó un perfil cuadrado de 22 x 22 mm con un espesor de 1.2 mm.

La cama interna es recubierta con planchas de acero ASTM A 36 de 0.8 mm de espesor, la función es de proteger la

estructura y generar un espacio entre la pared para colocar tecnopor para evitar que el calor de la masa fermentada se transfiera con facilidad. Tienen paletas en forma de C que permite coger una cantidad adecuada de granos y removerlos, la altura de la paleta es 120 mm, el material utilizado es de acero inoxidable AISI 304. El eje este hecho de acero inoxidable AISI 316L, la tapa del fermentador está conformada por una lámina de acero inoxidable de AISI 316L de 2 mm de espesor, una lámina de acero ASTM A36 de 0.8 mm de espesor y una estructura de tubo cuadrado ASTM A36 de 22 x 22 mm con un espesor 1.2 mm. Contiene un sistema de sensores para poder captar cada característica organoléptica del cacao, sistema embebido y una interfaz web para el monitoreo y trazabilidad.

En base a la revisión realizada según [46] en Piura, con el prototipo de acero inoxidable se mejoró de forma notable la higiene en el proceso de fermentación y se minimizó la contaminación de los granos, además permitió que se pueda llevar una fermentación constante del grano y en donde se pudo controlar la aireación y la velocidad de remoción.

De acuerdo a la investigación de [46] en Piura, Perú, este prototipo es una nueva forma de poder fermentar granos de cacao, ya que permite el uso de agentes esterilizantes químicos y llevar un control sobre el proceso de fermentación mediante sistema de sensores y sistema web que recolecta información en tiempo real.

Sin embargo, son pocas las investigaciones realizadas y publicaciones con respecto a las mejoras del cacao con este tipo de fermentador debido al costo alto que genera el implementar este tipo de fermentador.

Figura 3- Fermentador Acero Inoxidable.



De acuerdo con toda la revisión bibliográfica que se realizó de los diferentes tipos de fermentadores, son variados tanto en metodología como en tecnología, las modalidades de las actividades del tratamiento postcosecha desarrollados son de manera similar citando a [8], ya que mantuvieron toda la secuencia de ejecución ordenada y pueden ser bien controladas para la obtención benéfica adecuada y la producción de granos con sabores organolépticos bien desarrollados. Las diferencias entre estos dispositivos radican entre la tecnología acoplada a los fermentadores (sensores, sistemas, softwares), formas características de cada dispositivo, dimensiones (medidas), material con la cual fueron fabricados y el rendimiento que cada dispositivo tuvo durante el proceso de fermentación.

Los resultados de cada dispositivo empleado en el proceso de fermentación fueron favorables para la obtención benéfica organoléptica de los granos de cacao, donde tuvieron buen desempeño, lo más común es la implementación de los fermentadores de madera cuadrado, tanto en el ámbito local, regional y nacional, debido a los bajos costos de producción que maneja, a comparación de los

dispositivos de tambor giratorio y acero inoxidable, que emplean un costo más alto de producción, pero donde los resultados son mucho más favorables y no requieren de mucho personal que se encargue del manejo de estos dispositivo. Existe un factor importante que es mantener la higiene de los dispositivos, en la cual los fermentadores de madera son muchos más fáciles de ser contaminados, algo que no sucede con el fermentador de acero inoxidable y además tiene un valor agregado que es la inclusión de tecnología para mejorar el proceso fermentativo.

La realidad agroindustrial nacional, regional y local de la explotación del cacao se caracteriza por un deficiente nivel de automatización de los procesos, esto impide aprovechar las oportunidades de comercialización que mencionan [3]. En ese sentido recomendamos adoptar el fermentador de tipo tambor giratorio propuesto por [42], debido a las características organolépticas resultantes del proceso de fermentación, que permite mejorar la calidad comercial de los granos. La sencillez de su construcción, los materiales utilizados, el costo reducido y la facilidad de su uso lo convierten en un dispositivo bastante accesible que sin embargo es posible adaptarle tecnología de sensores para medición de los indicadores y software para el procesamiento de datos resultantes del

proceso de fermentación a fin de realizar el control necesario

A continuación, en la Tabla 1 hacemos un resumen de la evaluación de las características de los prototipos de fermentación identificados en esta revisión. Tomamos en cuenta capacidad, material usado para su construcción, desempeño logrado, costo, adaptabilidad para la incorporarle tecnología de información y mecanismos de control, construcción y validación.

El prototipo construido a partir de acero inoxidable tiene un desempeño muy bueno y gran capacidad de procesamiento; sin embargo, los difícil de su construcción, su elevado costo y difícil validación del proceso constructivo en las pruebas, hacen que sea una tecnología poco recomendable para nuestra realidad.

Por otro lado, el dispositivo basado en tambor giratorio o como sus autores [42] lo llaman "rotor de madera" tiene además buena capacidad de procesamiento, el material usado es bastante accesible, muy buen desempeño y es de fácil validación por lo que no existe riesgo de realizar la inversión y que el dispositivo no funcione y/o necesite adaptaciones complicadas para su correcto funcionamiento.

Tabla 1. Evaluación de las características de los prototipos de fermentación

Tipo	Capacidad	Material	Desempeño	Costo	Adaptable	Construcción	Validación
Acero	250 kg	AISI316L	Muy Bueno	Elevado	No	Difícil	Difícil
Tambor	250 kg	Madera	Muy Bueno	Bajo	Sí	Intermedio	Fácil
Tradicional	100 kg	Madera	Bueno	Bajo	No	Fácil	Fácil

Además, citando a los autores del mismo la fermentación es más eficiente que los métodos tradicionales usados por los pequeños agricultores quienes en nuestra realidad hacen entrega del material luego de fermentado, y en función a los resultados sensoriales obtenidos pueden lograr precios más competitivos que les permita mejorar su economía.

4. Conclusión:

Con esta investigación se ha realizado una revisión bibliográfica exhaustiva de las mejores prácticas para la implementación de prototipos de fermentación que han sido utilizadas por países que logran alta calidad organoléptica en el sabor resultante del cacao, para poder llegar a los estándares adecuados asegurando el éxito del proceso y que logran ser más competitivos en el mercado, pero debido a la deficiente y heterogénea tecnología mal controlada utilizada para el proceso de fermentación y secado no se lo permiten. Y teniendo en cuenta que, si existe un buen desempeño de los procesos principales para la obtención de un grano de calidad, se obtendrán mejoras tanto en rentabilidad y muchas más oportunidades en el comercio exterior por ende la entrega de un buen grano.

Referencias

- [1] TOAPANTA RAMOS, L. F., ANDRADE, C., DÁVALOS ÁLVAREZ, E., LANDÁZURI ZALDUMBIDE, S., and QUITIAQUEZ, W., Thermal Analysis of heat sink with Heat Pipes for High Performance Processors, *Enfoque UTE*, 10(2), 2019, pp. 39–51, doi: [10.29019/enfoque.v10n2.469](https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n2.469).
- [2] VÁZQUEZ-OVANDO, A., OVANDO-MEDINA, I., ADRIANO-ANAYA, L., BETANCUR-ANCONA, D., AND SALVADOR-FIGUEROA, M., Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma, *Arch. Latinoam. Nutr.*, 66(3), 2016, pp. 239–254. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/3/art-10/>
- [3] BARRIENTOS FELIPA, P., La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial, *Semest. Económico*, 18(37), 2015, pp. 129–156, doi: [10.22395/seec.v18n37a5](https://doi.org/10.22395/seec.v18n37a5)
- [4] TIRADO-GALLEGO, P. A., LOPERA-ÁLVAREZ, A., and RÍOS-OSORIO, L. A., Estrategias de control de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* en *Theobroma cacao* L.: revisión sistemática, *Corpoica Cienc. y Tecnol. Agropecu.*, 17(3), 2016, p. 417, doi: [10.21930/rcta.vol17_num3_art:517](https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:517)
- [5] ARACELY VERA LOOR, M., BERNAL CABRERA, A., LEIVA MORA, M., EDISON AGUSTÍN VERA LOOR, A., VERA COELLO, D., PEÑAHERRERA VILLAFUERTE, S., SOLÍS HIDALGO, K., TERRERO YÉPEZ, P., and EDUARDO JIMÉNEZ GUERRERO, V., Microorganismos endófitos asociados a *Theobroma cacao*, *Rev. Cent. Agric.*, 45(3), 2018, pp. 81–87, Accessed: Jun. 30, 2020. [Online]. Available: <http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/html/v45n3/body/cag12318.html>.
- [6] PELÁEZ, P. P., GUERRA, S., and CONTRERAS, D., Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized transfer, between fermentation boxes, *Sci. Agropecu.*, 07(02), 2016, pp. 111–119, doi: [10.17268/sci.agropecu.2016.02.04](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.04)
- [7] MACHADO CUELLAR, L., ORDOÑEZ ESPINOSA, C. M., ANGEL SANCHEZ, K., GUACA CRUZ, L., and SUÁREZ SALAZAR, J. C., Organoleptic quality assessment of *Theobroma cacao* L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia, *Acta Agronómica*, 67(1), 2018, pp. 46–52, doi: [10.15446/acag.v67n1.66572](https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.66572)
- [8] AUGUSTO MARCILLO PLAZA, TAYRON MARTÍNEZ CARRIEL, ELICIA CRUZ IBARRA, WILMER BAQUE BUSTAMANTE, C. S. B., Fermentation of cocoa CCN-51, on the basis of three methods, in

different times., *Journal of Asia Pacific Studies*, 2019.

<https://www.japss.org/upload/6.%20Plaza.pdf> (accessed Jul. 04, 2020)

- [9] ORTIZ S., J., CHUNGARA, M., IBIETA, G., ALEJO, I., TEJEDA, L., PERALTA, C., ALIAGA-ROSSEL, E., MOLLINEDO, P., and PEÑARRIETA, J. M., Determinación de Teobromina, Catequina, Capacidad Antioxidante Total y Contenido Fenólico Total en Muestras Representativas de Cacao Amazónico Boliviano y su Comparación Antes y Después del Proceso de Fermentación., *Rev. Boliv. Química*, 1(36.1), 2019, pp. 40–50, doi: [10.34098/2078-3949.36.1.4](https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.1.4).
- [10] CARDONA, L., RODRIGUEZ, E., and CADENA, E., Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca*, *Rev. Lasallista Investig.*, 13(1), 2015, pp. 94–104, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492016000100009&lang=es
- [11] RUIZ REYES, J. M., SOTO BOHORQUEZ, J., and IPANAQUE, W., Evaluation of spectral relation indexes of the Peruvian's cocoa beans during fermentation process, *IEEE Lat. Am. Trans.*, 14(6), 2016, pp. 2862–2867, doi: [10.1109/TLA.2016.7555266](https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7555266)
- [12] MACHUCA-GUEVARA, J. I., SUÁREZ-PEÑA, E. A., MOTTE DARRICAU, E., and MIALHEMATONNIER, E. L., Caracterización molecular de los microorganismos presentes durante el proceso fermentativo de los granos de cacao (*Theobroma cacao*), *Rev. Peru. Biol.*, 26(4), 2019, pp. 535–542, doi: [10.15381/rpb.v26i4.17220](https://doi.org/10.15381/rpb.v26i4.17220)
- [13] MORENO-MARTÍNEZ, E., GAVANZO-CÁRDENAS, Ó. M., and RANGEL-SILVA, F. A., Evaluation of the Physical and Sensory Characteristics of Cocoa Liquor Associated with Sowing Models, *Cienc. y Agric.*, 16(3), 2019, pp. 75–90, doi: [10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890](https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890)
- [14] PARRA ROSERO, P., IPANAQUE ALAMA, W., and MANRIQUE SILUPU, J., Artificial Drying of Cocoa Beans Based on a Continuous Flow Revolving System, *IEEE Lat. Am. Trans.*, 14(6), 2016, pp. 2570–2575, doi: [10.1109/TLA.2016.7555220](https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7555220)
- [15] BRUNETTO, M. DEL R., GALLIGNANI, M., OROZCO, W., CLAVIJO, S., DELGADO, Y., AYALA, C., and ZAMBRANO, A., The effect of fermentation and roasting on free amino acids profile in Criollo cocoa (*Theobroma cacao* L.) grown in Venezuela, *Brazilian J. Food Technol.*, 23, 2020, doi: [10.1590/1981-6723.15019](https://doi.org/10.1590/1981-6723.15019)
- [16] WICKRAMASURIYA, A. M. and DUNWELL, J. M., Cacao biotechnology: current status and future prospects, *Plant Biotechnol. J.*, 16(1), 2018, pp. 4–17, doi: [10.1111/pbi.12848](https://doi.org/10.1111/pbi.12848)
- [17] QUINTERO-GARCÍA, J. C., MURCIA-TORREJANO, V., and ..., Desafíos Tecnológicos Para El Mejoramiento De La Trazabilidad De Cacao (*Theobroma Cacao* L.): Revisión Literaria, *Rev. Agropecu. y Agroindustrial La Angostura*, 6(December), 2019, doi: [10.24236/24220493.n6.2019.8](https://doi.org/10.24236/24220493.n6.2019.8).
- [18] EL SALOUS, A., Acceleration of cocoa fermentation through the action of bacteria (*Acetobacter acetii*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), *Espiraes Rev. Multidiscip. Investig.*, 3(28), 2019, p. 1, doi: [10.31876/er.v3i28.572](https://doi.org/10.31876/er.v3i28.572)
- [19] GUTIÉRREZ, T. J., State-of-the-Art Chocolate Manufacture: A Review, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 16(6), 2017, pp. 1313–1344, doi: [10.1111/1541-4337.12301](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12301)
- [20] GIL, M., ORREGO, F., CADENA, E., ALEGRIA, R., and LONDONO-LONDONO, J., Effect of Pectin Lyase Enzyme on Fermentation and Drying of Cocoa (&i&t;Theobroma cacao&i&t;L.): An Alternative to Improve Raw Material in the Industry of Chocolate, *Food Nutr. Sci.*, 07(04), 2016, pp. 215–226, doi: [10.4236/fns.2016.74023](https://doi.org/10.4236/fns.2016.74023)
- [21] HERNÁNDEZ- HERNÁNDEZ, C., LÓPEZ-ANDRADE, P. A., RAMÍREZ-GUILLERMO, M. A., GUERRA RAMÍREZ, D., and CABALLERO PÉREZ, J. F., Evaluation of different fermentation processes for use by small cocoa growers in Mexico, *Food Sci. Nutr.*, 4(5), 2016, pp. 690–695, doi: [10.1002/fns3.333](https://doi.org/10.1002/fns3.333)
- [22] AMORIM HOMEM DE ABREU LOUREIRO, G., REIS DE ARAUJO, Q., RENÉ-VALLE, R., ANDRADE-SODRÉ, G., and MOREIRA DE SOUZA, S. M., Influencia de factores agroambientales

- sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil, *Ecosistemas y Recur. Agropecu.*, 4(12), 2017, p. 579, doi: [10.19136/era.a4n12.1274](https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1274)
- [23] MEJÍA CÓRDOBA, C. A., Validación de un modelo matemático para predicción de la fermentación y secado del grano de cacao, *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, 9(1), 2018, pp. 59–69, doi: [10.22490/21456453.2088](https://doi.org/10.22490/21456453.2088)
- [24] DEVIDA, Cacao de Tocache es atractivo para mercados españoles - Noticias - DEVIDA, May 10, 2018. <https://www.devida.gob.pe/-/cacao-de-tocache-es-atractivo-para-mercados-espanoles> (accessed Jun. 09, 2020).
- [25] GARCIA GONZALEZ, E., Evaluación de los parametros fisico-químicos, microbiologicos y de calidad en la fermentación espontanea de granos de cacao en una unidad productiva de la unión, Florida (Valle del Cauca), *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, 6(1), 2019, doi: [10.23850/24220582.1635](https://doi.org/10.23850/24220582.1635)
- [26] MEZA-SEPULVEDA, D. C., QUINTERO-SAAVEDRA, J. I., ZARTHA-SOSSA, J. W., and HERNÁNDEZ-ZARTA, R., Estudio de prospectiva del sector cacao al año 2032 como base de programas de capacitación universitaria en el sector agroindustrial. Aplicación del método Delphi, *Inf. tecnológica*, 31(3), 2020, pp. 219–230, doi: [10.4067/S0718-07642020000300219](https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300219)
- [27] EKAWATY, Y., INDRABAYU, and ARENI, I. S., Automatic Cacao Pod Detection Under Outdoor Condition Using Computer Vision, in 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), 2019, pp. 31–34, doi: [10.1109/ICITISEE48480.2019.9003733](https://doi.org/10.1109/ICITISEE48480.2019.9003733).
- [28] DR. OSCAR VERA CARRASCO, CÓMO ESCRIBIR ARTÍCULOS DE REVISIÓN, *Rev. Médica La Paz*, 15(1), 2009, pp. 63–69, Accessed: Oct. 15, 2020. [Online]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-89582009000100010
- [29] GUSTAVO A. SLAFER, ¿Cómo escribir un artículo científico?, *Rev. Investig. en Educ.*, 6, 2009, pp. 124–132, Accessed: Oct. 15, 2020. [Online]. Available: <http://reined.webs.uvigo.es/index.php/reined/article/view/59/49>
- [30] PÉREZ, J. F., AVENDAÑO, C., GONZÁLEZ, N., and LÓPEZ, S., Influencia del tipo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las características del fermento y secado, *Agroproductividad*, 9(1), 2016, pp. 48–54, Accessed: Jul. 25, 2020. [Online]. Available: <http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/707>
- [31] DÍAZ, R. O. and HERNÁNDEZ, M. S., Theobromas from the Colombian Amazon: A healthy alternative, *Inf. Tecnol.*, 31(2), Apr. 2020, pp. 3–10, doi: [10.4067/S0718-07642020000200003](https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000200003)
- [32] AMABLE, C., TORRES, V., GILBERTO, R., OCAMPO, D., GUSTAVO, J., and ZAMORA, Q., Mucilago de cacao (*Theobroma cacao* L.) Como inculo para mejorar el sabor y textura del queso mozzarella, *Centrosur*, 1(6), 2020, pp. 80–87, Accessed: Nov. 11, 2020. [Online]. Available: <http://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/32/66>
- [33] BRUNETTO, M. D. R., GALLIGNANI DE BERNARDI, M. A., OROZCO CONTRERAS, W. J., CLAVIJO ROA, S. D. S., DELGADO CAYAMA, Y. J., AYALA MONTILLA, C. D., and ZAMBRANO GARCÍA, A., RP-HPLC-DAD determination of free amino acids in cocoa samples during fermentation and roasting, *Rev. Colomb. Química*, 49(1), 2020, pp. 11–19, doi: [10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.77811](https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.77811)
- [34] CHIRE-FAJARDO, G. C., UREÑA-PERALTA, M. O., GARCÍA-TORRES, S. M., and HARTEL, R. W., Optimization of the dark chocolate formulation from the mixture of cocoa beans and cocoa content by applying surface response method, *Enfoque UTE*, 10(3), 2019, pp. 42–54, doi: [10.29019/enfoque.v10n3.432](https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.432)
- [35] RAMÍREZ, B., MARÍA JOSÉ, V., and ROMERO, J. M., Características Fisicoquímicas y Colorimétricas de Licores de Cacao Obtenidos de los Clones tcs 06, fear 5 y fsv 41, *Cienc. Y Tecnol. Aliment.*, 17(1), 2019, pp. 40–59, Accessed: Jul. 25, 2020. [Online]. Available: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/4001

- [36] ATANACIO-ANDRADE, J., RIVERA-GARCÍA, J., CHIRE-FAJARDO, G. C., and UREÑA-PERALTA, M. O., Physical and chemical properties of cacao cultivars (*Theobroma cacao* L.) from Ecuador and Peru, *Enfoque UTE*, 10(4), 2019, pp. 1–12, doi: [10.29019/enfoque.v10n4.462](https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462)
- [37] SOTO BOHORQUEZ, J. C., RUIZ REYES, J. M., IPANAQUE ALAMA, W., and CHINGUEL ALAMA, C., New Hyperspectral Index for Determining the State of Fermentation in the Non-Destructive Analysis for Organic Cocoa Violet, *IEEE Lat. Am. Trans.*, 16(9), 2018, pp. 2435–2440, doi: [10.1109/TLA.2018.8789565](https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8789565)
- [38] LIMA SERRA, J., GOMES MOURA, F., V. DE MELO PEREIRA, G., SOCCOL, C. R., ROGEZ, H., and DARNET, S., Determination of the microbial community in Amazonian cocoa bean fermentation by Illumina-based metagenomic sequencing, *LWT*, 106, 2019, pp. 229–239, doi: [10.1016/j.lwt.2019.02.038](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.038)
- [39] PALLARES PALLARES, A., ESTUPIÑÁN A, M. R., PEREA VILLAMIL, J. A., and LÓPEZ GIRALDO, L. J., Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51, *Rev. ION*, 29(2), 2017, pp. 7–21, doi: [10.18273/revion.v29n2-2016001](https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016001)
- [40] GARCIA GONZALEZ, E., Evaluación de los parametros fisico-químicos, microbiologicos y de calidad en la fermentación espontanea de granos de cacao en una unidad productiva de la unión, Florida (Valle del Cauca), *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, 6(1), May 2019, doi: [10.23850/24220582.1635](https://doi.org/10.23850/24220582.1635)
- [41] CARDONA VELÁSQUEZ, L. M., RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E., and CADENA CHAMORRO, E. M., Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca, *Rev. Lasallista Investig.*, 13(1), 2016, pp. 94–104, doi: [10.22507/rli.v13n1a8](https://doi.org/10.22507/rli.v13n1a8)
- [42] QUEVEDO, J., ROMERO, J., and TUZ, I., Calidad Físico Química y Sensorial de Granos y Licor de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Usando Cinco Métodos de Fermentación, *Rev. Científica Agroecosistemas*, 6(1)(1), 2018, pp. 115–127, Accessed: Jun. 29, 2020. [Online]. Available: <https://ceema.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/172/207>
- [43] CÓRDOVA, P. R., BOHÓRQUEZ, JOSÉ NICASIO QUEVEDO GUERRERO, RIGOBERTO GARCÍA BATISTA, M., and REYES, S. H., Automatización de un sistema de fermentación de almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) para pequeños productores, *Rev. Científica Agroecosistemas*, 7(2), 2019, pp. 149–156, Accessed: Jul. 11, 2020. [Online]. Available: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/287/310>
- [44] YACUB, B., CAJAL, J., ACEVEDO CORREA, D., MURILLO, L., LEAL, R., and TIRADO, D. F., Diseño de un Prototipo Fermentador de Leche Semiautomático Para La Elaboración de Suero Costeño, *Biotecnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, 14(1), 2016, p. 95, doi: [10.18684/BSAA\(14\)95-102](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)95-102)
- [45] AGUILAR-SIERRA, S. M., SERNA-GIRALDO, C. P., and ARISTIZÁBAL-SIERRA, R. E., Transformaciones Microestructurales en Soldaduras Disímiles de Acero Inoxidable Austenítico con Acero Inoxidable Ferrítico, *Soldag. Inspeção*, 20(1), 2015, pp. 59–67, doi: [10.1590/0104-9224/SI2001.07](https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI2001.07)
- [46] MIGUEL CASTILLO RAMOS, J., DISEÑO DE UN FERMENTADOR ORIENTADO A MEJORAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DEL CACAO CRIOLLO BLANCO DE PIURA, U N I V E R S I D A D DE P I U R A, Piura, 2019.