

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Evaluación de la calidad de cacao Nacional y CCN51 utilizando
análisis de imágenes hiperespectrales

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentado por:

Patricio Gabriel Paz Bravo

Lía Cristina Saltos Aguilar

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

A la Dolorosa que siempre me ha sabido poner en el camino correcto, a mi familia por siempre apoyarme durante este proceso y a mi enamorada por su constante aliento para realizar este proyecto.

Patricio Gabriel Paz Bravo

El presente proyecto lo dedico a Dios, a mis padres, quienes son mi pilar y quienes me han inculcado mis valores por ser ejemplo de superación y sacrificio; y a mi familia, amigos y formadores quienes siempre muestran su apoyo incondicional y con su sabiduría me han llevado al punto donde me encuentro.

Lía Cristina Saltos Aguilar

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos llegar a este punto en la vida.

Al M.Sc. Galo Chuchuca por ser un gran profesor que siempre nos apoyó y nos supo guiar de la mejor manera.

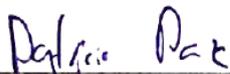
Al PhD. Daniel Ochoa y su grupo de trabajo del Centro de Visión y Robótica de FIEC por su ayuda en la realización de este proyecto.

A la M.Sc. Juleen Hidalgo y la Ing. Dayaneth Rivera por su constante apoyo y consejos.

A todos nuestros profesores, que de alguna manera supieron transmitir parte de su conocimiento y experiencia hacia nosotros.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Patricio Gabriel Paz Bravo* y *Lía Cristina Saltos Aguilar* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Patricio Gabriel

Paz Bravo



Lía Cristina

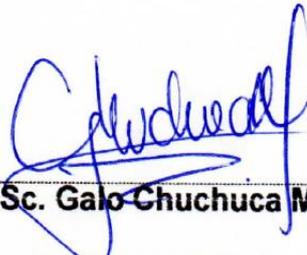
Saltos Aguilar

EVALUADORES



M.Sc. Haydee Torres Camba

PROFESOR DE LA MATERIA



M.Sc. Galo Chuchuca Morán

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Ecuador produce diferentes variedades de cacao de alta calidad. Para la clasificación de los granos de cacao se utilizan técnicas visuales subjetivas que no garantizan un comercio justo entre productores y exportadores. Este trabajo buscó aplicar la tecnología de análisis de imagen hiperespectral NIR como una alternativa para evaluar la calidad del cacao y diferenciar sus variedades. Se fermentó las variedades CCN51 y Nacional en cajas de fermentación por 3 y 5 días, se extrajo una muestra de 30 pepas por cada tratamiento, y se secaron al sol. Para evaluar su fermentación y calidad, se realizó un corte transversal de cada pepa y se tomaron imágenes RGB mediante un cámara NIR en longitudes de onda de 300 nm a 1100 nm; simultáneamente, se realizó un análisis tradicional de índice de fermentación mediante extracción con metanol y ácido clorhídrico. Mediante un análisis PCA y de los espectros obtenidos se logró diferenciar satisfactoriamente las variedades de cacao analizadas. Sin embargo, mediante un algoritmo de entrenamiento y clasificación se logró 62% de aciertos para identificar una fermentación completa o incompleta del cacao. Utilizando el análisis tradicional, se identificó que el 25% y 4% de los granos de cacao CCN51 y Nacional, respectivamente, presentaron una fermentación completa luego de 3 días; y el 92% y 67% de los granos, respectivamente, luego de los 5 días. Finalmente, un análisis financiero indicó que la adopción de esta tecnología en una línea de procesos de semielaborados no implica mayor costo en comparación a los métodos tradicionales.

Palabras Clave: Cacao, Fermentación, Imagen Hiperespectral, NIR

ABSTRACT

Ecuador produces different varieties of high quality cocoa. For its classification, subjective visual techniques are usually used and do not guarantee a fair trade between producers and exporters. This work aimed to apply a hyperspectral-NIR image analysis as an alternative to evaluate cocoa quality and differentiate its varieties. The CCN51 and National varieties were fermented in fermentation boxes for 3 and 5 days, a sample of 30 seeds was extracted for each treatment, and samples were dried in the sun. To evaluate its fermentation and quality, cocoa beans were cut as cross-section and RGB images were taken by an NIR camera in wavelengths from 300 nm to 1100 nm; simultaneously, a traditional fermentation index analysis was performed by extraction with methanol and hydrochloric acid. Through a PCA analysis and the spectra obtained, it was possible to successfully differentiate the cocoa varieties analyzed. However, through a training and classification algorithm 62% of successes were achieved to identify a complete or incomplete fermentation of cocoa beans. Using the traditional analysis, it was identified that 25% and 4% of CCN51 and National cocoa beans, respectively, presented a complete fermentation after 3 days; and 92% and 67% of the grains, respectively, after 5 days. Finally, a financial analysis indicated that the adoption of this technology in a production line of cocoa beans products does not imply a higher cost compared to traditional methods.

Keywords: *Cocoa, Fermentation, Hyperspectral Image, NIR.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Cacao	2
1.4.2 Composición química del cacao	3
1.4.3 Variedades de cacao	4
1.4.4 Manejos postcosecha	5
1.4.5 Parámetros de calidad del grano de cacao	7
1.4.6 Análisis del índice de fermentación.....	7
1.4.7 Análisis de imagen hiperespectral y métodos NIR	8
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología.....	9
2.1 Preparación de muestras	9
2.2 Azúcares reductores	10

2.3	pH y acidez titulable.....	10
2.4	Índice de fermentación mediante método químico	11
2.5	Preparación del equipo NIR	11
2.6	Preparación de muestra y captura de imágenes por equipo NIR	12
2.7	Análisis de componente principal.....	12
2.8	Índice de Fermentación mediante método NIR	12
2.9	Diseño de línea procesadora de licor de cacao	13
2.9.1	Diagrama del proceso.....	14
2.9.2	Distribución de la planta.....	16
2.10	Costos de aplicación del equipo NIR	17
CAPÍTULO 3.....		19
3.	Resultados	19
3.1	Características bromatológicas de las muestras de cacao.....	19
3.2	Índice de fermentación mediante método químico	20
3.3	Análisis de reflectancia de granos de cacao	22
3.4	Análisis de componente principal.....	23
3.5	Índice de fermentación mediante método NIR	23
3.6	Diseño de línea procesadora de licor de cacao	25
3.7	Costos de aplicación del equipo NIR	26
3.7.1	Costos Fijos.....	27
3.7.2	Costos Variables.....	27
3.7.3	Punto de Equilibrio.....	28
3.7.4	Flujo de caja	29
CAPÍTULO 4.....		30
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	30
4.1	Conclusiones	30
4.2	Recomendaciones	30

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CCN51	Colección Castro Naranjal
DO460	Absorbancia a 460
DO530	Absorbancia a 530
UV-VIS	Ultravioleta Visible
DNS	3,5-dinitrosalicílico
NIR	Espectroscopia de Infrarrojo Cercano
RGB	Red, Green, Blue
PCA	Análisis de Componentes Principales
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
INEN	Normativa Técnica Ecuatoriana
PVP	Precio de venta al público
HS	Hiperespectral

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
ml	Mililitro
μl	Microlitro
g	Gramo
Kg	Kilogramo
nm	Nanómetro
rpm	Revolución por minuto
W	Watt
h	horas
°C	Grados Celsius
Min	Minuto
M	Molar
\$	Dólar
%	Porcentaje

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de flujo de licor de cacao.....	14
Figura 3.1 Reflectancia de muestras de cacao.....	22
Figura 3.2 Análisis PCA	23
Figura 3.3 Layout de la planta	26
Figura 3.4 Layout sugerido.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición química de cacao	3
Tabla 1.2 Requisitos cacao en grano	7
Tabla 2.1 Actividades de flujo y no flujo.....	16
Tabla 2.2 Criterios de evaluación de la tabla de relación de actividades (TRA).....	16
Tabla 2.3 Criterios para calificar la relación de actividades	17
Tabla 3.1 Porcentaje de azúcares reductores	19
Tabla 3.2 Resultados de pH y acidez titulable	20
Tabla 3.3 Índice de fermentación mediante método químico.....	21
Tabla 3.4 Índice de fermentación mediante método NIR	24
Tabla 3.5 Matriz de confusión	25
Tabla 3.6 Tabla de relación de actividades	25
Tabla 3.7 Punto de equilibrio sin Equipo NIR	28
Tabla 3.8 Punto de equilibrio con Equipo NIR	28
Tabla 3.9 Índices financieros con y sin equipo NIR	29

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La principal materia prima para la producción de chocolate es el cacao. Desde las mazorcas de cacao hasta las tabletas de chocolate, los granos de cacao pasan por diferentes tratamientos como la fermentación, secado y tostado que generan el sabor característico del chocolate. Para garantizar la calidad de los granos se realizan diferentes análisis físicos y químicos como la composición, grado de fermentación, humedad, entre otros. Una de las pruebas más importantes es la prueba de corte, la cual consiste en cortar 50 granos de cacao, analizar su coloración y clasificar el cotiledón para determinar el estado de la fermentación. Aunque esta técnica es realizada por personas entrenadas, pueden presentarse diferentes criterios al momento de la evaluación del cacao. Una alternativa es la evaluación del color utilizando imágenes hiperespectrales en las etapas de postcosecha de cacao, buscando la repetitividad y exactitud.

1.1 Descripción del problema

La calidad del cacao depende de su manejo durante procesos como la fermentación, secado y almacenamiento, y sumado a la variedad del cacao, le dan un aroma y sabor característico. Para generar mayores ganancias, el sector cacaotero entiende la necesidad de obtener un cacao de calidad y al mismo tiempo de las herramientas que avale la variedad de cacao y su grado de fermentación durante la clasificación y comercialización del producto. Estas tareas son actualmente realizadas mediante una inspección visual, i.e., prueba de corte, por personas entrenadas, provocando algunas veces dificultades al momento de estandarizar un proceso y bajos grados de repetitividad y elevados porcentajes de errores ligados a la subjetividad al momento de realizar los análisis.

1.2 Justificación del problema

Las diferentes variedades y técnicas de fermentación aplicadas por los productores de cacao dificultan su clasificación, ya que se necesita de expertos cacaoteros entrenados para realizar la prueba de corte y evaluar la calidad de los granos. La subjetividad a la que está ligada esta prueba puede ocasionar un margen de error

elevado, por lo que se busca una alternativa que sea aplicable con diferentes variedades de cacao y tiempos de fermentación. El uso de imágenes hiperespectrales resulta una alternativa moderna para la clasificación de calidad de alimentos, con el fin de aumentar la eficiencia, efectividad y estandarización del proceso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la aplicación de imágenes hiperespectrales, comparándola con pruebas tradicionales, para la determinación del grado de fermentación de las variedades de cacao CCN51 y Nacional.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el grado de fermentación de las variedades cacao CCN51 y Nacional mediante el uso de pruebas tradicionales e imágenes hiperespectrales.
- Proponer un diagrama del proceso y diseño de planta para producción de licor de cacao considerando la aplicación de imágenes hiperespectrales.
- Calcular los costos de la aplicación de imágenes hiperespectrales en una línea de producción de semielaborado de cacao.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol que pertenece a la familia Malvaceae, su foco de variedad se encuentra en la región amazónica (Dostert, Roque, Cano, La Torre, & Weigend, 2011). Este árbol produce frutos o bayas grandes conocidos como mazorcas, las cuales pueden tener tonalidades verdes o rojas que cambian a amarillas y naranjas durante la maduración (Schilling & Rgalado, 2009). Dentro de las mazorcas se desarrollan los granos de cacao, los cuales serán utilizados para la elaboración de chocolate y derivados.

El grano de cacao contiene cáscara y cotiledón, representando entre el 10-14% y 86-90% del peso del grano, respectivamente (H.Fleet, 2015). El grano está cubierto de una pulpa, el cual es un tejido blando mucilaginoso blanquecino azucarado, ácido y viscoso

(Afoakwa, 2016). La pulpa es conocida como mucílago y es un medio rico para el crecimiento microbiano, siendo el principal sustrato en el proceso de fermentación y presentando un pH 3,94 – 4,12 (Watson, Preedy, & Zibadi, 2013). Los granos presentan diferentes formas, con longitudes y anchos de alrededor de 2 cm y 1 cm, respectivamente, pesan aproximadamente 1 g y contienen un tercio de agua y grasa; el resto de los compuestos corresponden a compuestos fenólicos, almidón, azúcar, teobromina, ácidos no volátiles y otros componentes en pequeñas concentraciones que le dan el sabor característico del chocolate (Afoakwa, 2016).

1.4.2 Composición química del cacao

Según Ohene A. (2014), los granos de cacao están compuestos principalmente por grasas, proteínas, carbohidratos, ácidos grasos y polifenoles, ver Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Composición química de cacao [Elaboración propia]

Grasa	Lípidos (45 a 60%) <ul style="list-style-type: none"> - Triacilglicéridos (95%) - Mono- y di- glicéridos, glucolípidos, esteroides y fosfolípidos (5%) Ácidos grasos <ul style="list-style-type: none"> - Palmítico (26.5%) - Esteárico (35.4%) - Oleico (34.7%) - Linoleico (3.4%) 	Contribuye con la mitad del peso del grano, entre 50-55%
Proteína	Albumina Globulina, con dos polipéptidos	Corresponden a 1.5-2% siendo precursores de sabor.
Carbohidratos	Fibra dietética <ul style="list-style-type: none"> - Pentosanos - Galactanos - Mucinas (Ácido galacturónico y celulosa) Carbohidratos solubles presentes (0.08-1.5%) <ul style="list-style-type: none"> - Estaquiosa - Rafinosa - Sacarosa 	El almidón es el carbohidrato predominante en el cacao

Ácidos orgánicos	Ácido cítrico (0.3-2%) Ácido oxálico succínico y málico (0.05-0.5%)	Presenta diferentes ácidos orgánicos.
Polifenoles	Polifenoles y alcaloides: <ul style="list-style-type: none"> - Cafeína 0.1-0.2% - Teobromina 2.5-3.2% - Teofilina - Catequinas 3.0-6.0% - Leucocianidinas 2.5% - Taninos 2.0-3.5% 	Corresponde del 14-20% del peso seco del grano. Presentan sabores amargos y astringentes. Propiedades antioxidantes ayudan a proteger el grano del daño y enfermedades

1.4.3 Variedades de cacao

El árbol de cacao tuvo una gran expansión por diferentes regiones de América, Asia y África, desarrollándose diferentes variedades. Según Bertazzo et al. (2012), estas variedades incluyen: Forastero, Criollo, Trinitario y Nacional.

- Forastero: Es una variedad nativa de la región Amazónica, África y del sudeste asiático. Produce mazorcas duras, amarillas y redondeadas; en su interior, los granos son marrones y ligeramente amargos con bajas notas de sabor frutal (Ohene A., 2014).
- Criollo: Es nativa del Sur y Centro América, e islas del caribe. Producen mazorcas rojas, alargadas y con surcos profundos; en su interior granos con ligera pigmentación con sabores menos amargos y más aromáticos, el sabor es más suave y a nuez (Ohene A., 2014). Genera semillas ligeramente pigmentadas; presenta un historial de baja productividad debido a su alta susceptibilidad a enfermedades, insectos y ataques de estrés (Prins, 2019).
- Trinitario: Es un híbrido del cacao Forastero y Criollo; a diferencia de estos presenta mejor calidad, mayor rendimiento y resistencia a enfermedades. Producen mazorcas duras de color variable, largas o cortas; en su interior granos de colores variables con sabores especiales (Frank, 2013).
- Nacional o Arriba: Es nativa de Ecuador y representa el 5% de la producción mundial de cacao con período de fermentación de 3 a 5 días (Jiménez, Amores, & Solórzano, 2014). Se producen mazorcas amarillas y redondas; en su interior granos presentan aromas frutales o florales (Lema A., 2013).

- CCN51: Su nombre corresponde a Colección Castro Naranjal 51 que abreviado se denomina CCN51, es nativa de Ecuador creado por el científico botánico autónomo Homero Castro en 1960, en respuesta a una plaga conocida como escoba de bruja, devastadora para el sector cacaotero (Baah, Opoku, & Akoto, 2010). Es de alta producción y resiste diferentes enfermedades. Se producen mazorcas rojas que en su interior contiene granos con mayor contenido de grasa que el Nacional (Herrmann et al., 2015).

Zonas de producción de cacao

El cacao es uno de los principales productos de exportación del Ecuador y principal sustento de agricultores en varias regiones del país (Lema A., 2013). Aproximadamente el 70% del cultivo es realizada por pequeños agricultores, por el contrario, el 20% y 10% se realiza por medianos y grandes productores, respectivamente (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao- Ecuador, 2019). A nivel global, el Ecuador es el tercer mayor productor con el 17% del total de la producción (Corporación Financiera Nacional, 2018).

1.4.4 Manejos postcosecha

El tiempo para cosechar las mazorcas de cacao es distinto para cada variedad, pudiendo estar listas para su cosecha luego de 4 a 7 meses. Cada mazorca contiene entre 30 a 60 semillas de cacao en su interior, las cuales son recolectadas y tratadas para su comercialización (Schwan & Fleet, 2014). Un tiempo adecuado de cosecha y tratamientos postcosecha garantizan un cacao de alta calidad y elevado valor agregado (FLACSO, 2012).

Fermentación de cacao

Según Schwan (2014) la fermentación del cacao ocurre espontáneamente luego de que los granos han sido removidos de las mazorcas. Es generada por la acción de la microflora natural presente en el mucílago de los granos que presenta de 10 al 15% de azúcares. Durante el proceso se da el crecimiento de levaduras, bacterias ácido lácticas, ácido acéticas, especies de *bacillos* y hongos filamentosos que provocan la hidrólisis de la pulpa (Schwan & Fleet, 2014).

Este proceso dura generalmente de 3 a 8 días, variando con las condiciones climática y la variedad. Se dan reacciones como: degradación de proteínas a aminoácidos simples, transformación de sacarosa en glucosa y fructosa, disminución de teobromina y cafeína, degradación de las antocianinas y oxidación de polifenoles. Todas estas reacciones resultan en la producción del aroma y color característico del chocolate (F.Schwan, 2004).

Métodos de fermentación

Al necesitar un cacao con mayor calidad fue necesario desarrollar diferentes métodos de fermentación. Las técnicas más conocidas en la fermentación son: pilas, cestas, bandejas y cajas de fermentación (Llerena, 2016).

En el Ecuador se usan dos técnicas. La fermentación en pilos que es un método popular utilizado por pequeños agricultores, consistiendo en agrupar determinada cantidad de cacao y ponerla en forma de pilo, para ser cubiertas luego por sacos de yute u hojas de plátano (Afoakwa, Cocoa Production and Processing Technology, 2014). Para asegurar una buena fermentación y disminuir el crecimiento de hongos se realizan mezclas periódicas que son llevada a cabo cada 1 o 2 días; la duración de este método es de entre 4 a 7 días (Llerena, 2016). El otro método consiste en utilizar cajas de madera perforadas para la fermentación, donde se agregan los granos y se los deja fermentar entre 4 a 7 día, con movimientos periódicos cada 2 días y moviendo el cacao de una caja a otra. Ambos métodos son realizados con cantidades de entre 25 a 100 kg (H.Fleet, 2015).

Secado

El secado es un proceso que ayuda a reducir la amargura y astringencia del grano, provocando el color marrón característico del chocolate (Dina, Ambarita, Napitupulu, & Kawai, 2014). Entre los métodos usados están el secado solar, que es el más común en los agricultores, y los métodos artificiales, que consisten en exponer al grano húmedo a aire seco conducido por ventiladores, provocando pérdida de humedad del grano (Afoakwa, Cocoa Production and Processing Technology, 2014). El secado es de gran importancia por la reducción la humedad del grano que llega hasta 7%, esto garantiza un almacenamiento seguro y su facilidad de procesamiento.

1.4.5 Parámetros de calidad del grano de cacao

Para garantizar la calidad del cacao en grano existen requisitos que deben ser cumplidos al momento de ofrecer este producto; humedad, olores, metales pesados y plaguicidas. Estos se detallan en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Requisitos cacao en grano [Elaboración propia]

Humedad	- 7.0%
Granos defectuosos	- <1%
No debe:	<ul style="list-style-type: none">- Estar infestado- Poseer olores a moho, humo, ácido butírico (podrido), agroquímicos, o cualquier otro que pueda considerarse objetable- Contener impurezas y materias extrañas

1.4.6 Análisis del índice de fermentación

Entre los métodos tradicionales para determinar el índice de fermentación está la prueba de corte, donde 50 granos del cacao son cortados a la mitad y se clasifica visualmente el grado de fermentación según el color. Los granos del cacao se pueden clasificar como: buen fermento, ligero fermento, sin fermento, hongos y pizarrosos (Fernandez & Gallo, 2011).

Otra prueba realizada consiste en sumergir los granos de cacao en una probeta con agua, los granos que permanezcan en la superficie tendrán buen fermento, mientras que en el centro de la probeta serán ligero fermento y en el fondo los que no fermentados (Seijas, 2007).

Finalmente, el índice de fermentación también se puede determinar mediante una prueba química, donde los granos son molidos y tamizados. Luego se agrega una solución de metanol y ácido clorhídrico donde se deja reposar a refrigeración por 20 horas. Una vez obtenido este extracto, se determina la absorbancia de extracto a 460 y 530 nm con un espectrofotómetro UV-VIS, determinando el valor mediante la relación DO460/DO530 (Teneda, 2016).

1.4.7 Análisis de imagen hiperespectral y métodos NIR

Es un proceso automático, que utiliza métodos de espectroscopía, para analizar el espectro de los alimentos, siendo una metodología alternativa para evaluar la calidad de los productos (Sunoj, Igathinathane, & Visvanathan, 2016). Entre los métodos están la absorción de luz y la espectroscopía de dispersión, que son altamente aplicados en la industria debido a la rapidez y certeza que brinda estas pruebas.

Uno de los métodos más aplicados es el método Near-Infrared Spectroscopy (NIR), muy útil para el análisis de los alimentos y sus componentes, como grasa, proteínas, carbohidratos y humedad, garantizando resultados seguros y más rápidos (Burns & Ciurczak, 2014). La onda NIR puede atravesar fácilmente la estructura de los alimentos y extraer información del interior (Arngren, 2011). Este método se basa en la absorción de radiación electromagnética en longitudes de onda de 780-2500 nm, produciendo amplias bandas armónicas y combinaciones de vibración que reflejan los enlaces químicos como carbono-hidrógeno, oxígeno-hidrógeno o nitrógeno-hidrógeno (Osborne B. , 2006).

Para determinar la calidad del cacao, como componentes que verifiquen el índice de fermentación o su composición, el método de análisis hiperespectral NIR es también útil. Este método a diferencia de los tradicionales puede clasificar objetivamente y no destruir la muestra en el proceso (Bayona, Ochoa, Criollo, Cevallos-Cevallos, & Liao).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este proyecto se evaluó la aplicación de Imágenes Hiperespectrales para identificar el grado de fermentación de variedades de cacao. El proceso inició desde la obtención de los granos de cacao fermentados hasta finalizar con las pruebas físicas y químicas respectivas (D.K. Adzaho, 2015). Se analizaron elementos como índice de fermentación, pH, acidez titulable y azúcares reductores por ser elementos que presentan una diferenciación al momento de la fermentación del cacao (R. Nazaruddin, 2006). El índice de fermentación fue luego determinado utilizando análisis de imágenes hiperespectrales para evaluar la factibilidad de su aplicación. Finalmente, el proyecto evaluó la posible adopción de esta técnica en una línea de producción de semielaborado de cacao.

2.1 Preparación de muestras

Se recolectó mazorcas de cacao Nacional y CCN51 proveniente de productores locales y proveedores de la empresa Maquita Agro. La fermentación se realizó en cajas de madera de 90 cm de alto y 120 cm de ancho cubiertas con bolsas plásticas por 7 días y a temperatura ambiente durante la segunda semana de noviembre del 2019 (Schawn, 1998). Del centro de la caja de fermentación se tomaron y separaron 30 granos de ambas variedades al 3er y 5to día de fermentación. Luego de ser retirados los granos fueron secados al sol por 7 días durante la tercera semana de noviembre de 2019 (Tagro Simplicie Guehi, 2010).

Las muestras fueron almacenadas en fundas de polietileno de alta densidad a temperatura ambiente hasta realizar los análisis químicos y de imagen hiperespectrales. Seis granos de cada tratamiento fueron separados para análisis de pH, acidez y azúcares reductores. Los 24 granos restantes, por cada tratamiento, fueron analizadas para determinar su índice de fermentación químicamente y utilizando análisis de imagen hiperespectrales.

2.2 Azúcares reductores

Para la determinación de azúcares reductores se empleó el método DNS (3,5-dinitrosalicílico), el cual se basa en una reacción redox entre el DNS y los azúcares reductores que se hallan en la muestra, causando una coloración proporcional a su contenido. Se preparó una solución con 1 g de cacao en 40 ml de agua destilada, luego se realizó una mezcla de 500 µl de la muestra y 500 µl de DNS. Inmediatamente se calentó los tubos en baño maría por 10 min, posteriormente enfriándolos en una mezcla de agua con hielo. A continuación, se colocó por triplicado 200 µl de la mezcla en pocillos para analizar por espectrofotometría a 540 nm. Por último, se empleó una curva de calibración de una solución de anhídrido dextrosa por duplicado para la cuantificación de los azúcares reductores (C Benhura, 2016).

2.3 pH y acidez titulable

Para la determinación de pH y acidez titulable se pesaron 2 g de cacao en polvo, mezclándolo con 20 ml de agua destilada a 75°C. Se dejó luego reposar la mezcla hasta llegar a 25°C y posteriormente ser filtrado utilizando papel filtro. Del filtrado obtenido se midió el pH empleando un potenciómetro (Ching L., 2006). Para la determinación de acidez titulable se utilizó el mismo filtrado agregando mediante goteo hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N hasta llegar a pH 8,0, mediante indicador de fenolftaleína. La acidez titulable se calculó aplicando la ecuación 2.1 (López, 2019).

$$\% \text{ Ác. Acético} = \frac{Vg \times N \times F.D \times F.E}{m} \times 100\% \quad (2.1)$$

Donde:

%Ác. Acético: Acidez titulable (%ácido Acético)

Vg: Volumen de consumido de Hidróxido de sodio (mL)

N: Normalidad Na (OH) (eq/L)

F.D.: Factor de Dilución de la muestra.

F.E.: Miliequivalente de Ác. Acético.

m: Gramos de la muestra (g).

2.4 Índice de fermentación mediante método químico

Para la determinación del índice de fermentación mediante un método tradicional y con base a un principio químico, se determinó utilizando el método planteado por Gourieva y Tzerevitinov (1979). Para cada tratamiento, cada grano fue molido finamente (malla 30) y se pesó 0,1 g de muestra en una balanza analítica. Se añadió 10 ml de mezcla de metanol y ácido clorhídrico (97:3) y se enfrió a 8°C en un refrigerador durante 16 a 19 h. Se obtuvo un extracto transparente por filtración a través de papel de filtro Whatman No. 1. El índice de fermentación de las muestras se determinó calculando la relación de las absorbancias a 460 nm y 530 nm (ecuación 2.2), se esperó que los valores iguales y mayores a 1 se tomen como fermentación completa (Ilangantileke, 1991).

$$FI: \frac{460nm}{530nm} \quad (2.2)$$

2.5 Preparación del equipo NIR

Se utilizó un equipo de análisis de imagen hiperespectral del Centro de Visión y Robótica (CVR) de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de ESPOL. El equipo incluyó una cámara CCD de 12 bits a monocromo 1500M-GE Thorlabs con sensibilidad NIR, un espectrógrafo SPECIM Inspector V10 con sensibilidad espectral en [364,1031] nm, resolución espectral de 1.2 nm y un sistema de iluminación con dos lámparas halógenas de 50 W colocadas a los lados de la cámara. Estos elementos fueron montados en un control deslizante motorizado, que permitió una exploración lineal del objetivo fijo. El equipo estuvo colocado en un cuarto oscuro, sin entrada de luz durante la calibración y análisis de muestras.

Se utilizó una cámara CCD de alto rango dinámico para capturar imágenes RGB, obteniendo 520 imágenes por cada escaneo (Bayona, Ochoa, Criollo, Cevallos-Cevallos, & Liao). Se calibró el equipo utilizando la ecuación 2.3. Donde R_λ es la reflectancia en la longitud de onda de λ , I_λ es la intensidad de la muestra, W_λ es la intensidad de una referencia estándar blanca y D_λ es la intensidad medida cuando el sensor no recibe luz (Ernest Teye, 2016).

$$R_\lambda = \frac{I_\lambda - D_\lambda}{W_\lambda - D_\lambda} \quad (2.3)$$

2.6 Preparación de muestra y captura de imágenes por equipo NIR

Las pepas seleccionadas fueron cortadas en dos partes iguales utilizando una guillotina especial para cacao y se colocaron en una placa blanca con cavidades para las pepas, esto para no afectar la toma de imágenes por otros colores. Luego se capturaron imágenes de la placa colocada en el lector del equipo, generando fracciones del espectro con longitudes de onda desde 300 a 1100 nm. Los datos son almacenados por cada fracción de la placa y espectro examinado, y se procesan los datos mediante programa generador de cubos hiperespectrales. A partir de esto se dividió la placa por cada pepa analizada, teniendo un cubo único por cada muestra; se lo realizó utilizando el programa “Cacao Cropper” del CVR.

2.7 Análisis de componente principal

El método de PCA (análisis de componente principal) consistió en analizar todo el espectro de luz generado por el equipo de cada muestra estudiada, analizando cada píxel presente en la imagen y consiguiendo un valor promedio. Las imágenes fueron tratadas previamente con la aplicación de una máscara en la imagen, con el fin de evitar las grietas y las sombras de cada muestra y analizar únicamente la estructura del cotiledón. Este tratamiento fue realizado utilizando los programas “Segmentation” y “Máscara 2” del CVR (Stone, 2012).

Una vez obtenidos los valores promedios de cada muestra se utilizó un algoritmo que determina el valor para identificar la pepa, graficándolo como un punto único en función de las semejanzas de los datos y creando grupos. El PCA engloba todos los valores estudiados entre las longitudes de onda para representar la pepa, facilitando la identificación de características por muestras (Cambrai & Marcic, 2010). Una vez obtenido los datos para el PCA se utilizaron los mismo para obtener las gráficas de las longitudes de onda específicas y luego un barrido promedio de los espectros (Afoakwa, Chocolate Science and technoly, 2016).

2.8 Índice de Fermentación mediante método NIR

Se realizaron dos metodologías para la determinación del índice de fermentación mediante análisis de imágenes hiperespectrales. La primera calculó el índice de

fermentación de los espectros generados en las mismas longitudes de ondas que fueron utilizadas en el análisis químico, manteniendo la misma relación a la empleada en dicho análisis. Esto se realizó con el fin de observar las diferencias que puede generar una muestra tratada químicamente con una lectura directa del equipo NIR.

La segunda metodología utilizó un algoritmo o modelo, para identificar cuáles granos pueden ser identificados como Fermentación Completa (índices de fermentación mayores a 1) o Fermentación Incompleta (índice de fermentación menores a 1), según el espectro obtenido de los granos y los índices obtenidos en el análisis químico. Se seleccionó 13 granos para entrenar el modelo y 8 granos para validarlo, es decir 50% de la muestra para entrenar y 50% de la muestra para validar. El algoritmo utilizado es un modelo previamente determinado y empleado en procesos de calificación. Luego de entrenar o alimentar el modelo se procedió a validar el método utilizando una matriz de confusión donde se clasificó los acierto y errores del modelo. Se lo hizo empleando la ecuación (2.4) (Redolfi & Gonzalez, 2016)

$$Exactitud = \frac{COCP+IOIP}{COCP+IOCP+COIP+IOIP} \quad (2.4)$$

Donde:

- COCP** Completa observación, completa predicción
- IOCP** Incompleta observación, completa predicción
- COIP** Completa observación, incompleta predicción
- IOIP** Incompleta observación, incompleta predicción

2.9 Diseño de línea procesadora de licor de cacao

Para el diseño de plantas de una línea procesadora de licor de cacao se evaluó las condiciones de ruta de la materia prima, del producto en proceso y del personal, empleando diagrama del proceso; la necesidad de espacio con análisis de proximidad de áreas para la distribución de la planta; y el layout con el método de algoritmo constructivo CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning), proponiendo una distribución considerando principios de inocuidad e higiene. Finalmente, se consideró las restricciones del equipo NIR, asumiendo que la aplicación de este en una línea de producción de licor de cacao es de 2 a 2.5 minutos por lectura.

2.9.1 Diagrama del proceso

Para la elaboración de licor de cacao se planteó un diagrama de flujo del proceso, el cual inicio con la recepción del cacao, continuando con el proceso de clasificación donde se aplicó el equipo de imagen hiperespectral en grano, seguido de tostado, enfriamiento, descascarillado, molienda, refinado, envasado y almacenamiento de producto terminado.

Dentro de este diagrama de flujo se contemplan entradas y salidas del proceso junto a sus puntos de control, donde como punto de control está el tostado, en el cual se elimina carga microbiana y se consiguen los aromas y sabores característicos del cacao gracias a la temperatura aplicada. Y como punto crítico de control, el envasado, donde se controla metales pesados en producto terminado. Los tiempos establecidos en cada etapa son los tiempos de trabajo según las capacidades de los equipos y respecto a la cantidad de producto final a producir (125Kg/h).

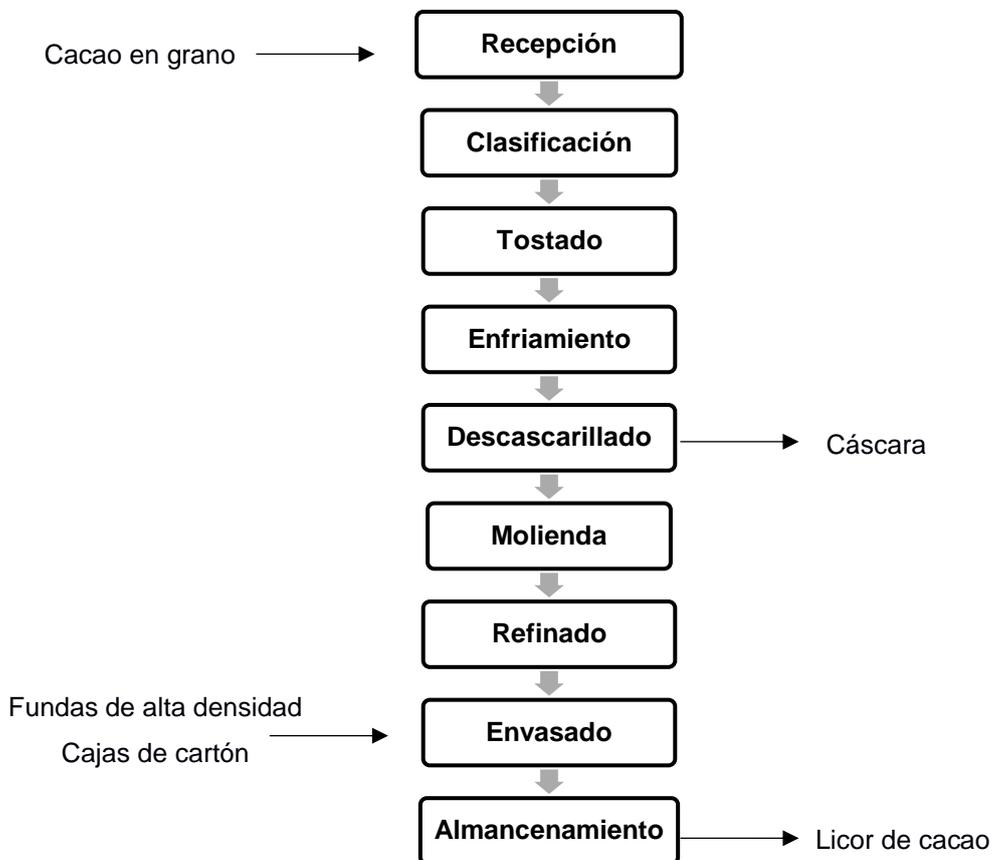


Figura 2.1. Diagrama de flujo de licor de cacao [Elaboración propia]

Recepción: Se receipta cacao de distintas zonas y variedades, se realiza un control en cuanto a cantidad recibida, rendimiento, certificado de calidad y estado de la materia prima.

Clasificación: El cacao una vez aprobado pasa al proceso de clasificación, se transporta sobre una banda donde se corta por la mitad y es evaluado mediante imágenes hiperespectrales, el cual separa los granos de buen, ligero y mal fermento, también granos que presente mohos y pizarrosos.

Tostado: Luego de obtener los granos deseados, ya sea de buena o ligera fermentación, se tosta las pepas a temperaturas de 125-130 °C durante 75-80 minutos para conseguir los olores y sabores característicos del cacao y eliminar cargar microbiana.

Enfriamiento: Al finalizar el proceso de tostado el cacao pasa a la tolva que tiene el tostador el cual da vuelta el grano y por medio de unos ventiladores a 1680 rpm lo enfría, llega hasta 30-35°C lo cual ayuda que no se pierda la grasa en el triturado y facilitando la etapa siguiente de descascarillado.

Descascarillado: La separación de la cascara se realiza mediante diferencia de densidades, los granos se trituran y son separados mediante un tamiz por tamaños y la cascara por flujo de aire, este proceso toma entre 35-40 minutos.

Molienda: Se trituran los granos de cacao quebrados provenientes de la descascarilladora en el molino y son convertidos en licor de cacao por fuerzas de compresión y fricción, la banda giratoria tiene 1.7 caballos de fuerza, 12000 rpm y 11 amperios durante 90 minutos

Refinado: En esta etapa se realiza el mismo proceso, pero con el fin de llevar el licor de cacao hasta 17 micrones, mediante fuerzas de fricción, compresión y un agitador de 171 rpm durante 15 minutos.

Envasado: Se realiza un control de metales y el licor de cacao es envasado en fundas de polietileno de alta densidad de 25 kg y cajas de cartón corrugado.

Almacenamiento: Finalmente se almacena el licor de cacao a temperatura ambiente donde se realizan los análisis correspondientes para liberar el producto según Norma técnica ecuatoriana.

2.9.2 Distribución de la planta

Se analizó las actividades del proceso según la metodología de la tabla de relaciones de actividades, donde se reconoció la proximidad entre áreas del proceso de flujo y no flujo. La tabla 2.1 detalla las actividades agrupadas que se analizaron mientras que las tablas 2.2 y 2.3 los criterios aplicados para definir la relación de proximidad entre áreas. Para conocer la propuesta de distribución de áreas se aplicó el algoritmo CORELAP (Vanaclocha, 2005).

Tabla 2.1 Actividades de flujo y no flujo [Elaboración propia]

	Actividades
1	Recepción
2	Clasificación/Tostado
3	Enfriamiento/Descascarillado
4	Molienda/Refinado
5	Envasado/Almacenamiento
6	Laboratorio
7	Oficinas/Baños

Tabla 2.2 Criterios de evaluación de la tabla de relación de actividades (TRA) [Vanaclocha, 2005]

Código	Criterio de Proximidad	Color Asociado
A	Absolutamente necesaria	Rojo
E	Especialmente importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Ordinaria	Azul
U	Sin importancia	-
X	Rechazable	Marrón

Tabla 2.3 Criterios para calificar la relación de actividades [Vanaclocha, 2005]

Valoración	Motivo
1	Proximidad en el proceso
2	Higiene
3	Control
4	Frío
5	Malos olores, ruidos
6	Seguridad del producto
7	Utilización de material común
8	Accesibilidad

2.10 Costos de aplicación del equipo NIR

Para determinar los costos de una línea procesadora y la incorporación de la tecnología NIR, se consideró las etapas empleadas en el diseño de planta y la velocidad de análisis del equipo NIR. Como costos fijos se estudiaron elementos como equipos, instalaciones y mano de obra empleadas en producción y gestiones administrativas. Mientras que para los costos variables se limitó a analizar materias primas y materiales para el envasado. Al tener los valores de los costos fijos y variables se determinó un costo de venta del producto con un margen de 40% de utilidad (2.5) y el punto de equilibrio (2.6).

$$\text{Costo Unitario} = \frac{\text{Costos Variables}}{\text{Unidades producidas}} \quad (2.5)$$

$$PVP = \frac{\text{Costo Unitario}}{1 - \frac{\% \text{utilidad}}{100}} \quad (2.6)$$

A partir de la inversión de materias primas y equipos se simuló la aplicación del equipo para verificar el impacto en los costos de la producción. Se lo realizó tomando en cuenta un préstamo de \$250.000,00, una de tasa de interés y de retorno de 16,6% y 12% respectivamente, valores referenciales del mercado. Se elaboró un cuadro de amortización con el método francés y un flujo de caja según Baca Urbina (2007), donde se determinó el valor actual neto (VAN) (2.7) y la tasa interna de rendimiento (TIR) (2.8).

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad (2.7)$$

$$0 = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad (2.8)$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Características bromatológicas de las muestras de cacao

En la Tabla 3.1 se muestra el contenido de azúcares reductores de las muestras de cacao luego de 3 y 5 días de fermentación. El contenido de azúcares reductores en cacao Nacional y CCN 51 presentaron valores mayores a los 3 días de fermentación; ambas muestras presentaron un valor de 2,34%. Por el contrario, a los 5 días se dio una disminución del contenido de azúcares, el cacao CCN- 51 presentó 2,23% de azúcares reductores mientras que la variedad Nacional un 2,20%.

Estos valores son cercanos a los presentados por Peláez (2016) que encontró valores entre 2,93% a 3,26% en 3 días y 2,77% a 3,05% para 5 días de fermentación. Se esperaba que los valores del Nacional fueran menores a los que presentara el cacao CCN-51 debido a el tiempo estimado de fermentación para esta variedad, la cual debería estar listo a los 3 a 4 días del proceso de fermentación (Jiménez, Amores, & Solórzano, 2014). Los valores sin embargo pudieron verse afectados durante la fermentación debido a que la masa de fermentación fue únicamente de cacao CCN-51 para ambas variedades. El cacao CCN-51 presenta un mucílago con menor contenido de azúcares, lo cual pudo afectar la velocidad de fermentación y provocar una menor transformación de los azúcares reductores del grano (Quingaisa, 2007).

Tabla 3.1 Porcentaje de azúcares reductores [Elaboración propia]

Variedad	Días	% Azúcares reductores
Nacional	3	2,35
	5	2,23
CCN51	3	2,35
	5	2,20

Adicionalmente, el análisis de pH reveló diferencias de los granos de cacao Nacional y CCN51 a los 3 días de fermentación (Tabla 3.2). Sin embargo, ambas variedades presentaron pH 5,2 luego de los 5 días de fermentación. Afoakawa et al. (2008) determinó que los granos de cacao con una fermentación incompleta tienen pH entre 5,5

a 5,8, mientras que el cacao bien fermentado tiene pH entre 4,7 a 5,2. Por lo tanto, la fermentación realizada a los 3 días resultó incompleta. Esto se debe a que los granos de cacao son permeables al ácido acético luego de 3 días, cambiando la composición del embrión y bajando el pH a 4,8.

Finalmente, la acidez titulable total de los granos de cacao se detalla en la Tabla 3.2. Aunque para la variedad Nacional es ligero, en ambas variedades existió un aumento en la acidez de los granos de cacao luego de 5 días de fermentación. Portillo et al. (2011) reveló que los ácidos originados por microorganismos durante la fermentación causan un aumento de la acidez y la disminución del pH. Sin embargo, los valores obtenidos sugieren una fermentación incompleta al comparar con Rivera et al. (2018), quien encontró 2% de acidez titulable en granos de cacao con fermentación completa.

Tabla 3.2 Resultados de pH y acidez titulable [Elaboración propia]

Variedad	Días de Fermentación	pH	Acidez titulable (%)
CCN51	3	5,4	0,42%
CCN51	5	5,2	0,60%
NACIONAL	3	5,3	0,40%
NACIONAL	5	5,2	0,45%

Considerando las características bromatológicas anteriormente descritas, la variedad de cacao CCN51 presentó una fermentación más completa que la variedad Nacional. Sin embargo, ambas variedades no presentaron características propias de un lote de cacao con una correcta fermentación. Esto se debió tal vez al método de fermentación utilizado, al mezclar ambas variedades.

3.2 Índice de fermentación mediante método químico

En la Tabla 3.3 se muestran los índices de fermentación de los 24 granos de cacao individualmente analizados. Los análisis indicaron valores desde 0 y mayores a 1, donde según Sunoj et al. (2016) se considera como una fermentación completa cuando los valores son iguales y mayores a 1, mientras que por debajo de 1 son considerados como falta de fermentación. Luego de 3 días de fermentación, la variedad CCN51 presentó únicamente seis granos de cacao con fermentación completa, mientras que a los 5 días

de fermentación 22 granos ya se encontraban completamente fermentadas. En cuanto a la variedad Nacional, luego de 3 días de fermentación solamente una pepa mostró una fermentación completa, mientras que luego de los 5 días de fermentación 16 granos ya se encontraron completamente fermentados.

Tabla 3.3 Índice de fermentación mediante método químico [Elaboración propia]

N° Muestra	Índice de fermentación			
	CCN51 3 DÍAS	CCN51 5 DÍAS	NA 3 DÍAS	NA 5 DÍAS
1	0,8	1,2	0,9	1,0
2	1,0	1,5	1,2	0,9
3	0,9	1,3	0,9	0,9
4	1,1	1,2	0,8	1,1
5	0,9	1,0	0,8	0,9
6	1,0	0,9	0,7	0,8
7	1,0	1,2	0,9	0,9
8	0,7	1,0	0,8	1,0
9	0,8	1,2	0,8	1,0
10	0,8	1,3	0,8	1,0
11	0,8	1,2	0,9	1,1
12	1,2	1,1	0,8	1,2
13	1,0	1,3	0,8	1,1
14	0,9	1,5	0,8	1,1
15	0,9	1,4	0,9	0,8
16	0,9	1,0	0,7	1,0
17	0,9	1,7	0,9	0,9
18	0,9	1,0	0,9	1,3
19	0,7	1,0	0,7	1,0
20	0,7	0,7	0,8	1,4
21	0,7	1,0	0,8	1,1
22	0,9	1,2	0,8	0,9
23	0,9	1,1	0,8	1,0
24	0,7	1,0	0,9	1,0
Promedio	0,87	1,16	0,83	1,02
Desviación	0,13	0,22	0,10	0,14
Fermentación completa	6	22	1	16

Aunque los resultados bromatológicos indicaron que ambas variedades presentaron una fermentación incompleta, al analizar el índice de fermentación por cada grano de cacao se observa granos completamente fermentados. Lo que indica que la fermentación no es homogénea y que una muestra no puede representar la fermentación de todo un lote.

3.3 Análisis de reflectancia de granos de cacao

En la figura 3.1 muestra el espectro obtenido por 4 granos de cacao, una de CCN-51 y del Nacional a 3 y 5 días de fermentación. Los espectros de cada muestra no se superponen o intercepta con otra, definiendo que cada una presenta coloraciones distintas. Sin embargo, al mostrar el espectro de todos los granos en los diferentes tratamientos las curvas sí se superponen, siendo heterogéneo el comportamiento con respecto a su color. Por lo tanto, no se puede considerar una relación para evaluar la fermentación.

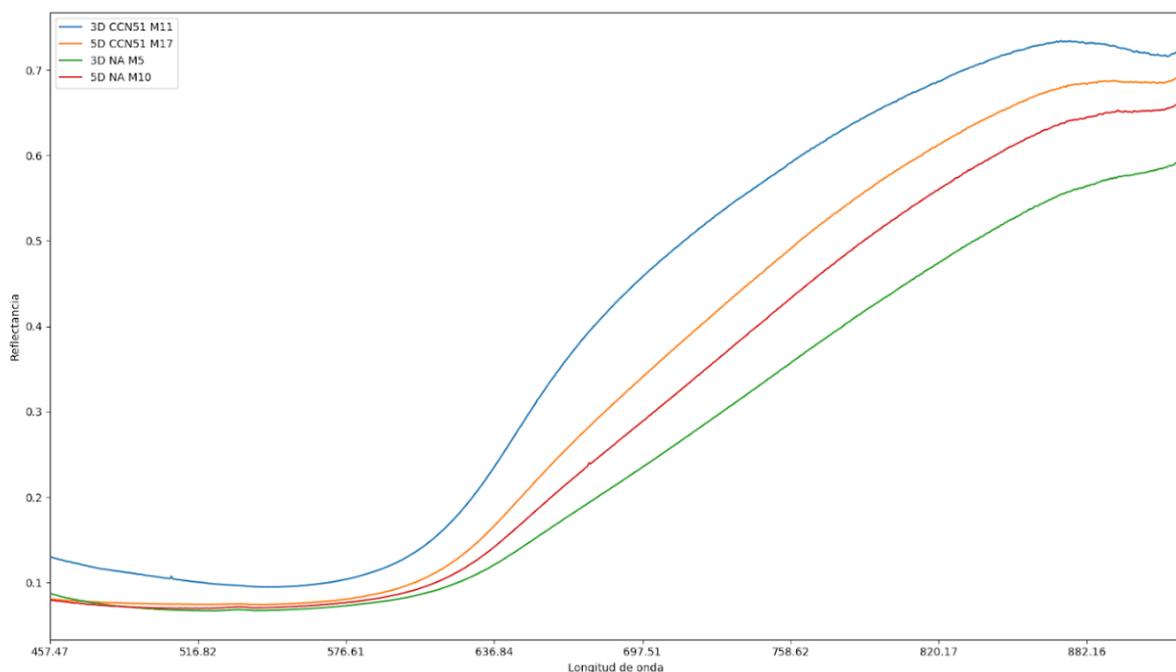


Figura 3.1 Reflectancia de muestras de cacao [Centro de Visión y Robótica, FIEC, 2020]

3.4 Análisis de componente principal

En la metodología de PCA se analizó todas las longitudes de onda correspondientes a cada píxel de cada imagen y se determinó un promedio de cada longitud. Esto se aplicó un algoritmo el que arrojó como resultado grupos de datos que se puede apreciar en la figura 3.2 en puntos de distintos colores.

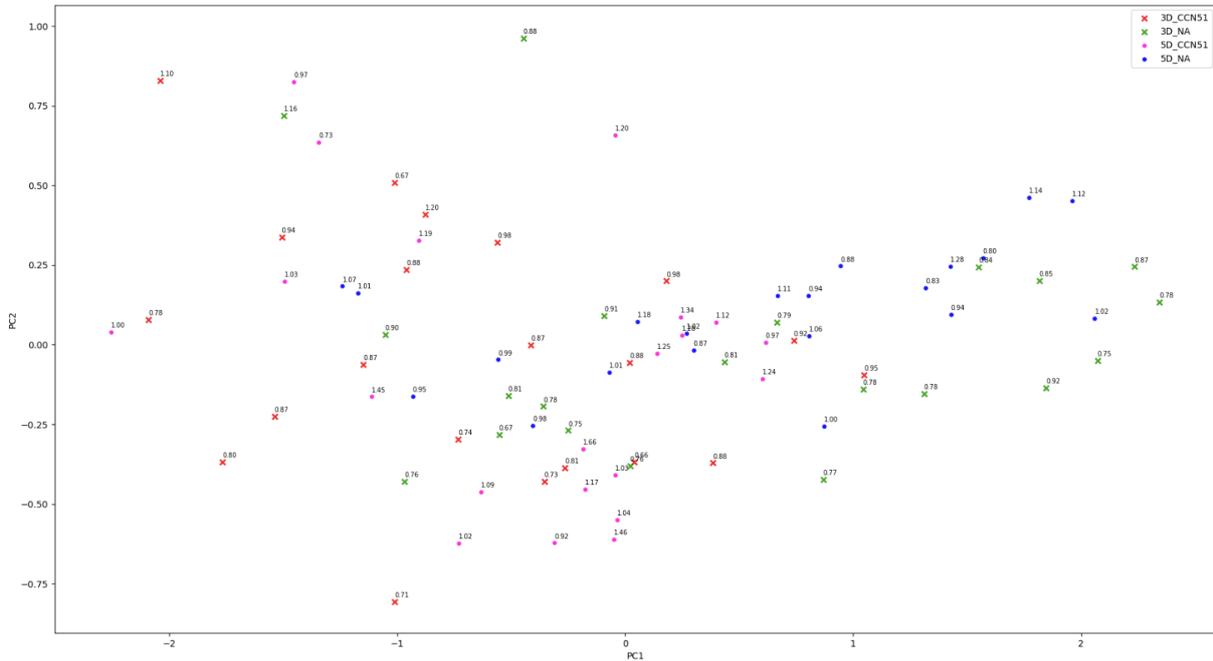


Figura 3.2 Análisis PCA [Centro de Visión y Robótica, 2020]

En la Figura 3.2 se observa que hay una diferencia en la tendencia de agrupación de las muestras pertenecientes a la variedad de CCN-51 y Nacional, donde las muestras pertenecientes al CCN-51 se aprecian en mayor número en el lado izquierdo de la imagen, mientras que el cacao Nacional se aprecia del lado derecho. El equipo fue capaz de diferenciar las dos variedades según las longitudes de onda estudiada. Las muestras de CCN-51 al tercer día están en mayor proporción en el lado izquierdo de la imagen, mientras que la muestra al quinto día presenta una dispersión, sin tener una zona definida donde se agrupa.

3.5 Índice de fermentación mediante método NIR

Luego de analizar los granos de cacao en las longitudes de onda estudiadas en la prueba de índice de fermentación mediante método químico, haciendo la misma relación,

se obtuvieron resultados diferentes. Los valores fueron mucho menores y no superan valores de 0,85 como se indica en la tabla 3.4. Por lo tanto, esta metodología para determinar el índice de fermentación no es factible. Posiblemente esto se debe a que en el análisis químico se realiza una extracción de componentes, mientras que el equipo NIR analiza directamente el grano de cacao sin un tratamiento previo.

Tabla 3.4 Índice de fermentación mediante método NIR [Elaboración propia]

N° Muestra	Índice de fermentación			
	CCN51 3 DÍAS	CCN51 5 DÍAS	NA 3 DÍAS	NA 5 DÍAS
1	0,67	0,69	0,63	0,63
2	0,70	0,67	0,71	0,65
3	0,76	0,64	0,63	0,71
4	0,72	0,69	0,63	0,68
5	0,70	0,68	0,67	0,70
6	0,69	0,66	0,66	0,70
7	0,70	0,66	0,66	0,69
8	0,67	0,65	0,66	0,66
9	0,70	0,65	0,64	0,69
10	0,65	0,63	0,72	0,65
11	0,66	0,76	0,63	0,68
12	0,61	0,77	0,65	0,67
13	0,73	0,74	0,68	0,72
14	0,77	0,70	0,69	0,66
15	0,69	0,63	0,66	0,71
16	0,69	0,62	0,65	0,69
17	0,73	0,76	0,68	0,70
18	0,76	0,68	0,70	0,66
19	0,66	0,63	0,66	0,69
20	0,72	0,69	0,65	0,68
21	0,64	0,71	0,75	0,67
22	0,67	0,69	0,63	0,63
23	0,70	0,67	0,71	0,65
24	0,76	0,64	0,63	0,71

Con respecto a la segunda metodología para evaluar el índice de fermentación, luego de realizar una matriz de confusión, se observó la cantidad de aciertos y errores que lograba captar el algoritmo ya entrenado (Tabla 3.5). A partir de los errores y aciertos que presento el equipo se analizó la exactitud que presenta el equipo al momento de analizar una pepa de cacao. Se obtuvo una precisión de 61% con un análisis total de 42 pepas entre cacao CCN51 y Nacional, con 3 y 5 días de fermentación. Esto indica que el equipo fue capaz de analizar las muestra y diferenciarlas. Con un número mayor de muestra y un entrenamiento mayor del algoritmo puede generarse mayor exactitud en el análisis y probar de mejor manera la capacidad de este equipo. Este resultado es cercano al presentado por Arias et al. (2018) donde se utilizó la misma tecnología, pero en análisis independientes, obteniendo un resultado con exactitud de 61% en el análisis de fermentación y un 65% en la variedad.

Tabla 3.5 Matriz de confusión [Centro de Visión y Robótica, FIEC, 2020]

	PREDICCIÓN	
OBSERVACIÓN	F. Completa	F. Incompleta
F. Completa	4	8
F. Incompleta	8	22

3.6 Diseño de línea procesadora de licor de cacao

Al analizar la capacidad de cada equipo por etapa se definió que es posible procesar 2 lotes de 125Kg diarios. En la tabla 3.6 se presenta la tabla de relaciones de entre las actividades del proceso, donde se detalla la importancia de la proximidad entre ellas con su motivo o criterio de cercanía.

Tabla 3.6 Tabla de relación de actividades [Elaboración propia]

	Actividades	1	2	3	4	5	6	7
1	Recepción		I 3	E 1	O 2	O 6	X 3	X 5
2	Clasificación / Tostado			I 1	O 1	I 3	X 8	X 5
3	Enfriamiento / Descascarillado				A 1	O 1	U 5	X 6
4	Molienda / Refinado					E 1	U 1	X 6
5	Envasado / Almacenamiento						U 8	U 8
6	Laboratorio							U 5
7	Oficinas / Baños							

En la figura 3.3 se aprecia la distribución de las actividades detalladas en la tabla de relación de actividades según su importancia en cuanto a proximidad y criterios de evaluación. El layout sugerido se muestra en la figura 3.4 con un flujo en U con un área necesaria de 203 m².

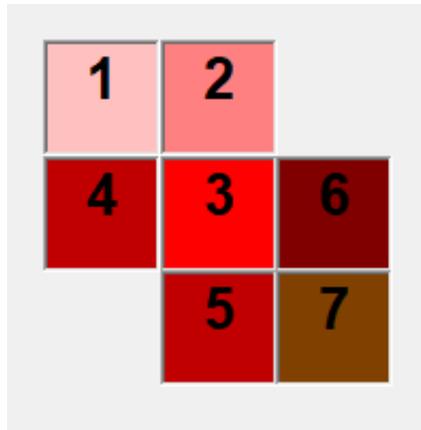


Figura 3.3 Layout de la planta [Elaboración propia]

3.7 Costos de aplicación del equipo NIR

Se consideró una producción de 20 toneladas mensuales de cacao, teniendo una producción total de 253 toneladas anuales, que se presentan en el mercado en presentaciones de 25 Kg con empaques de polietileno de alta densidad y cajas de cartón, teniendo un total de 800 unidades mensuales disponibles para el mercado.

Para la estimación de los costos se consideró la venta de 10 lotes de 100 kg de licor de cacao. Se estimó una tasa de retorno del 12 % y un margen de utilidad de 40%, con un precio de venta al público de \$98,50 la presentación de 25 Kg, con un precio de \$3,94 por Kg, precio menor al presente en el mercado que va de entre \$4,00 a \$4,50 por Kg.

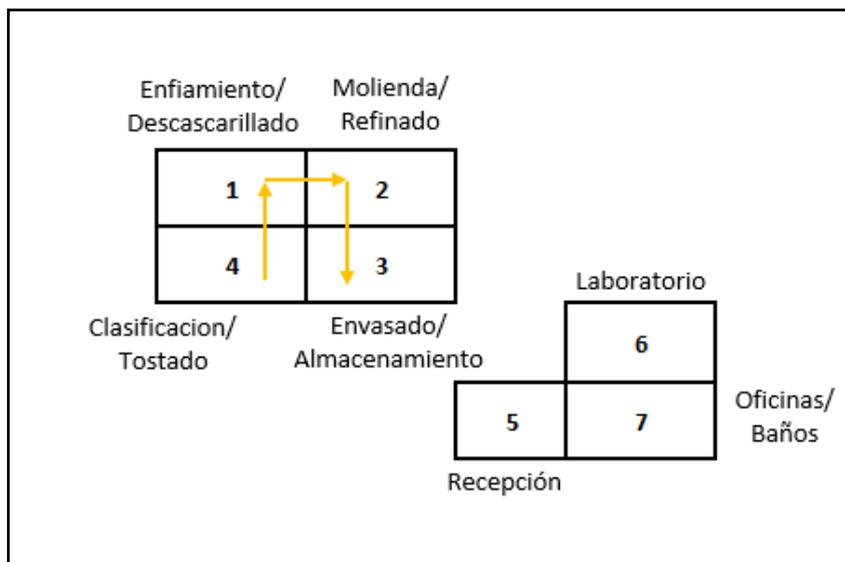


Figura 3.4 Layout sugerido [Elaboración propia]

3.7.1 Costos Fijos

Para la estimación de costos fijos se tomó en cuenta factores de la inversión inicial relacionada a la infraestructura y los equipos necesarios en producción y administrativos. Además de los costos laborales con una nómina de 6 personas y tomando una jornada laboral de 8 horas diarias.

Los costos anuales de la nómina corresponden a \$74.400 dólares anuales mientras que el rubro de inversión inicial necesaria en infraestructura, instalaciones industriales y equipos corresponde a un valor de \$310.015. Mientras que se tasó un valor de servicios básico como agua y electricidad de un valor de \$12.000 anuales. Estos valores se presentan en el Apéndice A

3.7.2 Costos Variables

En los costos variables se tomó en consideración la inversión de materias primas y materiales de empaque junto con los materiales relacionados con actividades administrativas. Estos valores presentan un total de \$590.000 incluido el capital de trabajo necesario para operar la planta, cuyos valores se presentan en el Apéndice B.

3.7.3 Punto de Equilibrio

Para determinar la cantidad de unidades necesarias a vender para poder recuperar la inversión se emplea la ecuación 3.2. Los valores empleados para el punto de equilibrio, con equipo, se presentan en la tabla 3.7. Además, se presenta un punto de equilibrio donde se omite la adquisición del Equipo de clasificación NIR para observar la diferencia en las unidades vendidas necesarias para recuperar la inversión del equipo representado en la tabla 3.8.

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{Costos fijos}}{\text{P.V.P} - \text{Costo Variable Unitario}} \quad (3.2)$$

Tabla 3.7 Punto de equilibrio sin Equipo NIR [Elaboración propia]

Rubro	Valores
Costos fijos	\$ 393.795,38
Costos variables	\$ 597.329,20
Costos totales	\$ 991.124,58
Utilidad	40%
Unidades Anuales	10120
Costo Unitario	\$ 59,02
Precio de venta	\$ 98,37
Punto de equilibrio	10.008

Tabla 3.8 Punto de equilibrio con Equipo NIR [Elaboración propia]

Rubro	Valores
Costos fijos	\$ 377.795,38
Costos variables	\$ 597.329,20
Costos totales	\$ 975.124,58
Utilidad	40%
Unidades Anuales	10120
Costo Unitario	\$ 59,02
Precio de venta	\$ 98,37
Punto de equilibrio	9601

Se puede observar que el punto de equilibrio adquiriendo el equipo NIR es de 10008 unidades, mientras que sin la compra de este son 9601 unidades, la diferencia es de 407

unidades de 25 kg, que no es un número alto para la producción de la planta y que puede dar un salto de calidad en la clasificación y elaboración del producto.

3.7.4 Flujo de caja

En el flujo de caja se estimó un tiempo operativo de la planta de 5 años, haciendo un balance con los equipos, mostrados en el Apéndice C, y materias primas en el tiempo indicado; además se simuló un préstamo de \$250.000 como inversión inicial y con una tasa referencial del mercado de 16%. Se estimó un incremento en la demanda anual del 10% para el licor de cacao.

En el Apéndice D se muestra el flujo de caja, teniendo en cuenta los valores fijos y variables, los valores para poder amortizar el préstamo y el valor tomado como capital de trabajo inicial. Asimismo, se determinó una tasa mínima de oportunidad mixta, que ligaba la tasa de rentabilidad de la empresa y la tasa de interés del préstamo, dando un valor de 16,27%.

Para determinar la viabilidad del proyecto se determinó el VAN y el TIR para una planta que implementa el equipo NIR y una sin su implementación, para observar qué tan significativo puede llegar a ser el equipo y su impacto sobre los valores de la planta. Esto se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Índices financieros con y sin equipo NIR [Elaboración propia]

Proceso	VAN	TIR
Con equipo NIR	\$ 595,71	40,06%
Sin equipo NIR	\$ 604,72	41,15%

Esto indica que la aplicación del equipo de clasificación NIR en una línea de proceso para licor de cacao presenta valores similares a los empleados en una línea de proceso sin la aplicación del equipo. Esto sin tomar en cuenta la reducción que puede generarse al disminuir el rechazo de producto terminado o de costos actuales empleados en el análisis de cacao.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Es posible relacionar los índices de fermentación del cacao obtenidos mediante métodos químicos y el análisis de imágenes hiperespectrales NIR. De tal modo es posible clasificar de manera automatizada el grano de cacao según su grado de fermentación. Sin embargo, es necesario estudiar más factores que influyen en la fermentación para una mejor clasificación.
- La aplicación del equipo NIR en una línea de producción de licor de cacao es posible como una alternativa para agilizar y disminuir los errores al momento de clasificar el grano por su grado de fermentación o según su variedad.
- Los costos que representaría la implementación del equipo NIR en una línea de producción son valores que generarían un retorno de la inversión y una ganancia, siendo una alternativa para aumentar la calidad del producto final y tener un precio mayor del cacao ecuatoriano.
- Por lo tanto, la utilización de análisis de imagen hiperespectral sería una alternativa para el sector cacaotero, presentándose como una herramienta de mayor exactitud, rapidez y sin errores de subjetividad para la evaluación de la calidad del cacao. Logrando evitar el rechazo de producto terminado que no cumple estándares de calidad.

4.2 Recomendaciones

- Para garantizar una fermentación homogénea y de calidad, es necesario realizar el proceso de fermentación del cacao sin mezclar variedades y empleando cantidades cercanas a 100 Kg de producto, manteniendo las cajas alejadas del sol.

- Evaluar la aplicación de imágenes hiperespectrales con longitudes de onda mayores a 1.100 nm para el análisis de componentes específicos como antocianinas, cafeína y teobromina, los cuales disminuyen con el tiempo de fermentación de cacao e influyen en las propiedades organolépticas del producto final.
- Evaluar las muestras de cacao fermentadas con técnicas de imagen sumado a pruebas bromatológicas y sensoriales de los diferentes estadios de fermentación para determinar de manera óptima la clasificación de la calidad del cacao.
- Al momento de analizar las imágenes obtenidas del equipo NIR se debería hacer un análisis de imagen por cada píxel procesado, para tener un resultado con mayor cantidad de datos y no verse afectado por la diversidad de colores que puede tener un grano de cacao.
- Para una mejor validación de los resultados, realizar el análisis de imágenes con un mayor número de muestras, estudiando así mismos granos de cacao con tiempos de fermentación de 1 y 7 días, adicionalmente a los ya estudiados, i.e, 3 y 5 días de fermentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Afoakwa, E. O. (2008). *Flavor formation and character in cocoa and chocolate*.
- Afoakwa, E. O. (2014). *Cocoa Production and Processing Technology*. Boca Raton: CRC
- Afoakwa, E. O. (2016). *Chocolate Science and technology*. Accra: Wiley Blackwell.
- Amores, F. (2009). Environmental environment, genetics, and singling quality attributes of cocoa in the north east of the province of Esmeraldas.
- Arngren, M. (2011). *Hyperspectral Image Analysis of Food Quality*. Kongens Lyngby: Technical University of Denmark.
- Asociación Nacional de Exportadores de Cacao- Ecuador. (2019). *Sector Exportador de Cacao*.
- Baah, F., Opoku, S., & Akoto, E. G. (2010). *Cocoa Manual: A source book for sustainable cocoa production*.
- Barcima, Y., & Ibañez, F. (2000). *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. Springer-Verlag Ibérica.
- Bayona, O., Ochoa, D., Criollo, R., Cevallos-Cevallos, J., & Liao, W. (n.d.). Cocoa bean quality assesment using closed range hyperspectral images.
- Bertazzo, A., Comai, S., Mangiarini, F., & Chen, S. (2012). *Chocolate in Health and Nutrition*. New York.
- Burns, D. A., & Ciurczak, E. W. (2014). *Handbook of Near-Infrared Analysis*.
- C Benhura, J. K. (2016). ffect of drying temperature on the content of reducing sugars in syrup of Parinari curatellifolia Planch. ex Benth. fruit and cereal based products, zvambwa.
- Calderon, L. (2018). *Produccion de etanol a paritr del mucilago de cacao (Theobroma Cacao) mediante fermentación Alcoholic*. Machala: Universidad Tecnica de Machala.
- Cambrai, A., & Marcic, C. (2010). *Differentiation of Chocolates According to the Cocoa's Geographical Origin Using Chemometrics*. Agricultural and Food Chemistry.
- Ching L., R. A. (2006). Quality of cocoa beans dried using a direct solar dryer at different loadings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1237-1243.
- Corporación Financia Nacional. (2018). *Cultivo de cacao-Elaboración de cacao,chocolate*.

- Corporación Financiera Nacional. (2018). *Ficha sectorial: Cacao y Chocolate*.
- D.K. Adzaho, Y. O.-A.-A. (2015). Effect of fermentation on nib acidity, fermentation index and residual anthocyanin content in dry beans. *Journal of Ghana Science Association*, 16-25.
- Dina, S. F., Ambarita, H., Napitupulu, F. H., & Kawai, H. (2014). Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans. *ELSEVIER*.
- Dolunay Şakar, G. K. (2008). Determination of anthocyanins in some vegetables and fruits by derivative spectrophotometric method. *Reviews in Analytical Chemistry*.
- Dostert, N., Roque, J., & Cano, A. (2011). *Hoja Botánica: Cacao Theobroma cacao L.*
- E. Whitacre, J. O. (2003). Predictive Analysis of Cocoa Procyanidins Using Near-Infrared Spectroscopy Techniques.
- Ernest Teye, J. U. (2016). Nondestructive Authentication of Cocoa Bean Cultivars by FT-NIR Spectroscopy and Multivariate Techniques.
- F.Schwan, R. (2004). The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 205-221.
- Fernández Isabel, F. A. (2011). *Calculo del contenido de azucares totales en alimentos por el metodo de bertrand*. Valencia.
- Fernandez, R. D., & Gallo, F. W. (2011, Noviembre). EFFECT OF TIME AND TYPE OF FERMENTATION IN PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF COCOA (Theobroma cacao L.) NATIONAL TYPE.
- FLACSO. (2012). *Boletín mensual de análisis sectorial de MIPYMES- Elaboración de cacao y subelaborados*.
- Frank, J. (2013). *About the Cacao Tree*. Retrieved from Cacao Web.
- Gitelson A., M. M. (2001). Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves.
- H.Fleet, R. F.-G. (2015). *Cocoa and coffee Fermentations*. Boca Raton: CRC Press.
- Ilangantileke, S. G. (1991). Assessment Methodology to predict quality of cocoa beans for export.
- Junichi Sugiyama, M. T. (2010). *Visualization of sugar distribution of melons by hyperspectral technique*. Ibaraki: Elsevier.
- Krishnan, A. (2019). Hyperspectral Imaging Analysis and Applications for Food Quality. *ResearchGate*.

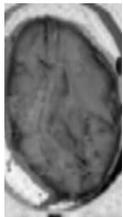
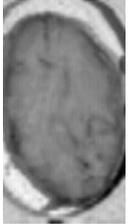
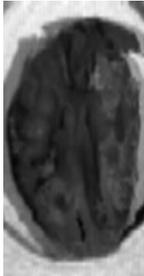
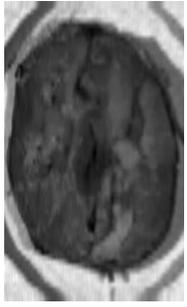
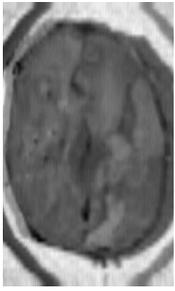
- Llerena, W. F. (2016). *Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao*. Sevilla: Universidad internacional de Andalucía.
- López, M. (2019). Physicochemical and microbiological dynamics of the fermentation of the CCN51 cocoa material in.
- Morten, A. (2011). Hyperspectral Image Analysis of Food Quality.
- Ochoa, J. (2019). *Sector Exportador de cacao*.
- Osborne, B. (2006). Near-Infrared Spectroscopy in Food Analysis. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*.
- Osborne, B. G. (2006). *Near-infrared Spectroscopy in Food Analysis*. Encyclopedia of Analytical Chemistry.
- Pedro, P., Peláez, Guerra, S., & Contreras, D. (2016). Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized transfer, between fermentation boxes. *Scientia Agropecuaria*, 111-119.
- Portillo, E. (2011). Influencia de las condiciones del tratamiento poscosecha sobre la temperatura y acidez en granos de cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.). 646-660.
- Prins, C. (2019). *Theobroma cacao, the food of the gods*. Retrieved from Barry Callebaut.
- Quingaisa, E. (2007). *Estudio de caso: Denominación de origen "cacao arriba"*. Quito: FAO.
- R. Nazaruddin, L. S. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in. *Industrial Crops and products*, 87-94.
- Redolfi, J., & Gonzalez, D. (2016). *Clasificación de Variedades de Semillas de Trigo usando Visión por Computadora*. Córdoba, Argentina.
- Rivera, J. (2018). CORRELACIÓN DE LA POROSIDAD CON EL GRADO DE FERMENTACIÓN DEL GRANO DE CACAO PERUANO (*Theobroma cacao* L.).
- Schawn, R. F. (1998). Cocoa Fermentations Conducted with a Defined Microbial Cocktail Inoculum.
- Schwan, R. F., & Fleet, G. H. (2014). *Cocoa and Coffee Fermentations*. Boca Raton: CRC Press.
- Seijas, M. G. (2007, Agosto). Manual Prácticas de Control de Calidad de Cacao en Centro de Acopio.
- Stone, R. (2012). *Image Segmentation Using Color Spaces in OpenCV + Python*. Retrieved from Real Python: <https://realpython.com/python-opencv-color-spaces/>

- Sunoj, S., Igathinathane, C., & Visvanathan, R. (2016). Nondestructive determination of cocoa bean quality using FT-NIR spectroscopy.
- Tagro, S. G. (2010). Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material.
- Teneda, W. (2016). Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao.
- Vanaclocha, A. C. (2005). *Diseño de Industrias Agroalimentarias*. Madrid: Tecnología de alimentos.
- Watson, R. R., Preedy, V. R., & Zibadi, S. (2013). *Chocolate in health and Nutrition*. Tuscon: Humana Press.
- Yusuf ErkanGörgülüa, H. K. (2016). Detection of Infected Figs by Real-Time Hyperspectral Trasmittance Images.

APÉNDICES

Apéndice A

A.1 Imágenes RGB y longitudes de onda de 460 y 530 nm [Elaboración propia]

Muestra	Imagen RGB	460 nm	530 nm
3 días-Nacional			
3 días-CCN51			
5 días-Nacional			
5 días-CCN51			

Apéndice B

Costos Fijos

B.1 Personal operativo de planta de licor de cacao [Elaboración propia]

PERSONAL	CANT	COSTO	TOTAL
GERENTE GENERAL	1	\$2.000,00	\$24.000,00
JEFE DE PRODUCCION	1	\$1.000,00	\$12.000,00
CONTADOR	1	\$800,00	\$9.600,00
SECRETARIA DE GERENCIA	1	\$400,00	\$4.800,00
JEFE DE CALIDAD	1	\$800,00	\$9.600,00
OPERARIOS	3	\$400,00	\$14.400,00
			\$74.400,00

B.2 Personal operativo de planta de licor de cacao [Elaboración propia]

PERSONAL	CANT	COSTO	TOTAL
GERENTE GENERAL	1	\$2.000,00	\$24.000,00
JEFE DE PRODUCCION	1	\$1.000,00	\$12.000,00
CONTADOR	1	\$800,00	\$9.600,00
SECRETARIA DE GERENCIA	1	\$400,00	\$4.800,00
JEFE DE CALIDAD	1	\$800,00	\$9.600,00
OPERARIOS	3	\$400,00	\$14.400,00
			\$74.400,00

B.3 Instalaciones [Elaboración propia]

INSTALACIONES	m2	COSTO	TOTAL
PLANTA PARA ELABORACION	122	\$ 250,00	\$ 30.500,00
BODEGAS MATERIAS PRIMAS & MATERIALES	50	\$ 250,00	\$ 12.500,00
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	20	\$ 350,00	\$ 7.000,00
LABORATORIO DE CONTRO DE CALIDAD	12	\$ 350,00	\$ 4.200,00
SS.HH.-VESTIDORES-COMEDOR-OTRAS	32	\$ 250,00	\$ 8.000,00
			\$ 62.200,00

B.4 Instalaciones [Elaboración propia]

INSTALACIONES	m2	COSTO	TOTAL
PLANTA PARA ELABORACION	122	\$ 250,00	\$ 30.500,00
BODEGAS MATERIAS PRIMAS & MATERIALES	50	\$ 250,00	\$ 12.500,00
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	20	\$ 350,00	\$ 7.000,00
LABORATORIO DE CONTRO DE CALIDAD	12	\$ 350,00	\$ 4.200,00
SS.HH.-VESTIDORES-COMEDOR-OTRAS	32	\$ 250,00	\$ 8.000,00
			\$ 62.200,00

B.5 Instalaciones industriales [Elaboración propia]

INSTALACIONES INDUSTRIALES			
INSTALACIONES ELECTRICAS E ILUMINACION			\$ 50.000,00
CLIMATIZACION Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE			\$ 30.000,00
INSTALACIONES MECANICAS DE MAQ&EQ.			\$ 20.000,00
INSTALACIONES DE CALDERO Y EQUIPOS AUXILIARES			\$ 5.000,00
INSTALACIONES ENFRIADOR DE AGUA Y EQUIPOS AUXILIARES			\$ 5.000,00
EQUIPOS SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SISTEMA CONTRA INCENDIOS			\$ 5.000,00
MONTACARGAS			\$ 15.000,00
			\$ 130.000,00

B.6 Equipos Auxiliares [Elaboración propia]

EQUIPOS AUXILIARES	CANT	COSTO	TOTAL
Balanza electronica de piso	2	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00
Transportadores de banda	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Balanza electronica de mesa	2	\$ 500,00	\$ 1.000,00
Selladora lineal continua	1	\$ 1.550,00	\$ 1.550,00
Mesas para empaque	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
			\$ 8.050,00

B.7 Insumos [Elaboración propia]

INSUMOS	CANT	COSTO	TOTAL
COFIAS	2	\$ 10,00	\$ 240,00
GUANTES	3	\$ 9,50	\$ 342,00
MASCARILLA	2	\$ 6,00	\$ 144,00
PACK DE LIMPIEZA	2	\$ 100,00	\$ 2.400,00
UTILES DE OFICINA	2	\$ 150,00	\$ 3.600,00
			\$ 6.726,00

Apéndice C

Costos Variables

C.1 Materias Primas [Elaboración propia]

MATERIA PRIMA	CANT	COSTO/K	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año	Quinto año
CACAO NACIONAL	0	\$ 3,70	\$ -				
CACAO CCN51	253000	\$ 2,30	\$ 581.900,00	\$ 640.090,00	\$ 698.280,00	\$ 756.470,00	\$ 814.660,00
			\$ 581.900,00	\$ 640.090,00	\$ 698.280,00	\$ 756.470,00	\$ 814.660,00

MATERIA PRIMA	CANT	COSTO/K	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año	Quinto año
CACAO NACIONAL	0	\$ 3,70	\$ -				
CACAO CCN51	253000	\$ 2,30	\$ 581.900,00	\$ 640.090,00	\$ 698.280,00	\$ 756.470,00	\$ 814.660,00
			\$ 581.900,00	\$ 640.090,00	\$ 698.280,00	\$ 756.470,00	\$ 814.660,00

C.2 Materiales de empaque [Elaboración propia]

MATERIAL DE EMPAQUE	CANT	COSTO/U	TOTAL	Segundo año	Tercer año	Cuarto año	Quinto año
FUNDAS ALTA DENSIDAD	10120	\$ 0,06	\$ 607,20	\$ 667,92	\$ 728,64	\$ 789,36	\$ 850,08
CAJAS DE CARTON	10120	\$ 0,80	\$ 8.096,00	\$ 8.905,60	\$ 8.905,60	\$ 8.905,60	\$ 8.905,60
			\$ 8.703,20	\$ 9.573,52	\$ 9.634,24	\$ 9.694,96	\$ 9.755,68
Total			\$ 590.603,20	\$ 649.663,52	\$ 707.914,24	\$ 766.164,96	\$ 824.415,68

Apéndice D

Depreciación y Balance de equipos

D.1 Depreciación de Equipos [Elaboración propia]

Depreciaciones					
Equipos	VALOR ADQUISICIÓN	VIDA ÚTIL AÑOS	VIDA ÚTIL MESES	DEPRECIACIÓN ANUAL	DEPRECIACIÓN MENSUAL
Sistema alimentación cacao	\$ 10.000,00	25	300	\$ 400,00	\$ 33,33
Tostador cacao	\$ 10.000,00	25	300	\$ 400,00	\$ 33,33
Sistema alimentación cacao descascaradora	\$ 10.000,00	25	300	\$ 400,00	\$ 33,33
Rompedor cacao	\$ 12.000,00	20	240	\$ 600,00	\$ 50,00
Descascaradora de Cacao	\$ 5.000,00	25	300	\$ 200,00	\$ 16,67
Sistema Neumatico Transporte Granilla	\$ 10.000,00	25	300	\$ 400,00	\$ 33,33
Molino de Piedra Licor Cacao 200kg/hora	\$ 16.000,00	15	180	\$ 1.066,67	\$ 88,89
Tanque Almacenamiento Licor Cacao 3000 kg	\$ 6.000,00	25	300	\$ 240,00	\$ 20,00
Tanque Almacenamiento Licor Cacao 1500 kg	\$ 3.000,00	25	300	\$ 120,00	\$ 10,00
Molino de Bolas Refinador marca BCM de 1 Tm+Bomba Piñon	\$ 18.000,00	25	300	\$ 720,00	\$ 60,00
Balanzas Electrónicas	\$ 1.332,00	10	120	\$ 133,20	\$ 11,10
Clasificador NIR (banda cortadora)	\$ 16.000,00	15	180	\$ 1.066,67	\$ 88,89
Maquina selladora pedal	\$ 483,48	15	180	\$ 32,23	\$ 2,69
	\$ 117.815,48			\$ 5.778,77	

D.2 Balance de Equipos [Elaboración propia]

Activo	Valor de compra	Vida útil	VS	Depreciación	Deprec. Acum.	Valor en libros	Utilidad
Ordenador	\$ 1.200,00	5	\$ 200,00	\$ 240,00	\$ 1.200,00	\$ -	\$ 200,00
Smartphone	\$ 400,00	5	\$ 100,00	\$ 80,00	\$ 400,00	\$ -	\$ 100,00
Mueble	\$ 3.910,00	5	\$ 312,80	\$ 782,00	\$ 3.910,00	\$ -	\$ 312,80
Sistema alimentación cacao	\$ 10.000,00	25	\$ 2.500,00	\$400,00	\$ 2.000,00	\$ (8.000,00)	\$ 10.500,00
Tostador cacao	\$ 10.000,00	25	\$ 2.500,00	\$400,00	\$ 2.000,00	\$ (8.000,00)	\$ 10.500,00
Sistema alimentación cacao descascaradora	\$ 10.000,00	25	\$ 2.500,00	\$400,00	\$ 2.000,00	\$ (8.000,00)	\$ 10.500,00
Rompedor cacao	\$ 12.000,00	20	\$ 3.000,00	\$600,00	\$ 3.000,00	\$ (9.000,00)	\$ 12.000,00
Descascaradora de Cacao	\$ 5.000,00	25	\$ 1.250,00	\$200,00	\$ 1.000,00	\$ (4.000,00)	\$ 5.250,00
Sistema Neumatico Transporte Granilla	\$ 10.000,00	25	\$ 2.500,00	\$400,00	\$ 2.000,00	\$ (8.000,00)	\$ 10.500,00
Molino de Piedra Licor Cacao 200kg/hora	\$ 16.000,00	15	\$ 4.000,00	\$1.066,67	\$ 5.333,33	\$ (10.666,67)	\$ 14.666,67
Tanque Almacenamiento Licor Cacao 3000 kg	\$ 6.000,00	25	\$ 1.500,00	\$240,00	\$ 1.200,00	\$ (4.800,00)	\$ 6.300,00
Tanque Almacenamiento Licor Cacao 1500 kg	\$ 3.000,00	25	\$ 750,00	\$120,00	\$ 600,00	\$ (2.400,00)	\$ 3.150,00
Molino de Bolas Refinador marca BCM de 1 Tm+Bomba Piñon	\$ 18.000,00	25	\$ 4.500,00	\$720,00	\$ 3.600,00	\$ (14.400,00)	\$ 18.900,00
Balanzas Electrónicas	\$ 1.332,00	10	\$ 333,00	\$133,20	\$ 666,00	\$ (666,00)	\$ 999,00
Clasificador NIR (banda cortadora)	\$ 16.000,00	15	\$ 4.000,00	\$1.066,67	\$ 5.333,33	\$ (10.666,67)	\$ 14.666,67
Maquina selladora pedal	\$ 483,48	15	\$ 120,87	\$32,23	\$ 161,16	\$ (322,32)	\$ 443,19
Inmobiliario	\$ 192.200,00	25	\$233.840,69	\$ -	\$ -	\$ 192.200,00	\$41.640,69
Total inversión	\$ 315.525,48		\$ 263.907,36	\$ 6.880,77	\$ 34.403,83	\$ 103.278,35	\$ 160.629,01
						Impuesto	\$ 40.157,25
						Utilidad neta	\$ 120.471,76
						Valor en libros	\$ 103.278,35
						Ingreso por AF	\$ 223.750,11

Apéndice E

Flujo de caja y Tabla de Amortización

E.1 Amortización [Elaboración propia]

TABLA DE AMORTIZACIÓN				
Pagos iguales por cada año				
Años	Interés	Cuota	Capital	Residuo
0				\$ 250.000,00
1	\$ 40.150,00	\$76.459,24	\$36.309,24	\$ 213.690,76
2	\$ 34.318,74	\$76.459,24	\$42.140,50	\$ 171.550,26
3	\$ 27.550,97	\$76.459,24	\$48.908,27	\$ 122.641,99
4	\$ 19.696,30	\$76.459,24	\$56.762,93	\$ 65.879,06
5	\$ 10.580,18	\$76.459,24	\$65.879,06	\$ -

E.2 Flujo de Caja [Elaboración propia]

FLUJO DE CAJA						
Suscripciones		10120	11132	12245,2	13469,72	14816,692
Valor Producto		\$ 98,37	\$ 99,07	\$ 99,78	\$ 100,48	\$ 101,20
Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$ 995.548,67	\$ 1.102.878,77	\$ 1.221.780,13	\$ 1.353.500,24	\$ 1.499.421,11
Costos personal (-)		\$ 74.400,00	\$ 78.400,00	\$ 82.400,00	\$ 86.400,00	\$ 90.400,00
Costos servicios (-)		\$ 12.000,00	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
Costos equipos (-)		\$ 14.776,00	\$ 14.776,00	\$ 14.776,00	\$ 14.776,00	\$ 14.776,00
Costos Materias primas(-)		\$ 590.603,20	\$ 648.793,20	\$ 706.983,20	\$ 765.173,20	\$ 823.363,20
Costos mantenimiento (-)		\$ 2.740,00	\$ 2.740,00	\$ 2.740,00	\$ 2.740,00	\$ 2.740,00
Gastos generales (-)		\$ 11.760,00	\$ 11.760,00	\$ 11.760,00	\$ 11.760,00	\$ 11.760,00
Gasto financiero (-)		\$ 40.150,00	\$ 34.318,74	\$ 27.550,97	\$ 19.696,30	\$ 10.580,18
Depreciación (-)		\$ 6.880,77	\$ 6.880,77	\$ 6.880,77	\$ 6.880,77	\$ 6.880,77
Utilidad antes de imp		\$ 242.238,70	\$ 293.210,07	\$ 356.689,19	\$ 434.073,97	\$ 526.920,96
Impuestos (-)		\$ 60.559,68	\$ 73.302,52	\$ 89.172,30	\$ 108.518,49	\$ 131.730,24
Utilidad después de imp		\$ 181.679,03	\$ 219.907,55	\$ 267.516,89	\$ 325.555,48	\$ 395.190,72
Depreciación		\$ 6.880,77	\$ 6.880,77	\$ 6.880,77	\$ 6.880,77	\$ 6.880,77
Capital (-)		\$ 4.541,56	\$ 5.270,93	\$ 6.117,45	\$ 7.099,91	\$ 8.240,15
Ingreso neto por venta AF						\$ 223.750,11
Inversión	\$ (310.015,48)					
Préstamo	\$ 250.000,00					
Capital de trabajo	\$ (590.603,20)					\$ 590.603,20
FNE	\$ (650.618,68)	\$ 184.018,23	\$ 221.517,38	\$ 268.280,21	\$ 325.336,34	\$ 1.208.184,64
Va	\$ (650.618,68)	\$ 158.510,04	\$ 164.361,34	\$ 171.465,37	\$ 179.108,54	\$ 572.945,02
VNA	\$ 595.771,62					
TIR		40,06%				