

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Título del trabajo

INGE-2424

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL CACAO CCN-
51 Y FINO DE AROMA

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Alimentos

Presentado por:

María Isabel Chan Chong

Elián Efraín Feijoo Díaz

Guayaquil – Ecuador

Año: 2024

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Msc. Diana Coello por su constante guía a lo largo de nuestra carrera, así como al PhD. Sócrates Palacios y a la Ing. Natasha Martínez por sus valiosos consejos y observaciones en este trabajo. Extendemos también nuestro agradecimiento al Arq. José Chan por su asesoramiento en el diseño de la línea de producción.

María Isabel Chan y Efraín Feijoo

Dedicatoria

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, quien me ha permitido seguir adelante y me ha iluminado en cada paso. A mis padres, Joao y Cecilia, y a mis hermanos, Juan y José, quienes han sido un apoyo constante, siendo un pilar fundamental en mi desarrollo personal y profesional. A mi novio, Xavier Castillo, y a mi mejor amiga, Rebecca Braasch, por estar siempre presentes y animarme a seguir esforzándome, también a mis amigos Jelena, Yariel, Elena, Samantha, Ariana y Allison.

También quiero agradecer al Msc. Cipriano Martínez y a mi compañera de trabajo, Msc. Sofia Mogro, por sus sabios consejos en la realización de este trabajo. Especialmente, a mi compañero de tesis, Efraín, sin cuya colaboración este trabajo no habría sido posible. Su amistad incondicional y el apoyo mutuo nos han permitido superar las adversidades a lo largo de nuestra carrera. Gracias a todos.

María Isabel Chan

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres a quienes estaré eternamente agradecido por apoyarme en cada paso que he dado. A mi hermano por ser un pilar importante con quien siempre he podido contar. A mi querida mascota Preciosa, gracias por acompañarme durante casi toda esta aventura, me hubiera encantado que llegaras al final conmigo. Todos ellos forman mi familia, gracias por todo, los quiero mucho.

A mis queridos amigos Ericka, Emily, Andrea S., Andrea M., Ana, Patrick y Santiago gracias por ser una alegría en momentos donde me ganaban mis pensamientos. A mi apreciada compañera de tesis Isa gracias por todo tu esfuerzo y tu amistad a lo largo de estos años. Finalmente, como diría Taylor Swift a quien admiro mucho y cuya música me acompaño durante todos estos años “Long live the walls we crashed through. I had the time of my life with you”.

Efraín Feijoo

Declaración Expresa

Nosotros María Isabel Chan Chong y Elian Efraín Feijoó acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

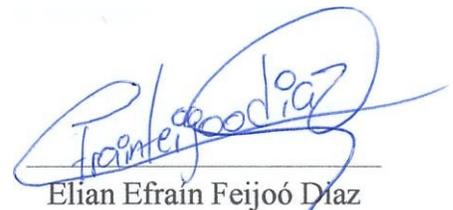
En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 20 de mayo del 2024.



María Isabel Chan

Chong



Elian Efraín Feijoó Díaz

Evaluadores

Andrea Ortega Suasnavas, MSc.

Profesor de Materia

Diana Coello Montoya, MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

El cacao es esencial para la economía ecuatoriana, siendo uno de sus principales productos de exportación. Ecuador destaca por su cacao Nacional Fino de Aroma (FA), conocido por su alta calidad en el mercado internacional. En contraste, la variedad ecuatoriana CCN-51, aunque ha ganado terreno por su mayor rendimiento y resistencia a plagas, tiene una calidad sensorial inferior al FA, lo que podría afectar la reputación del cacao ecuatoriano.

Este proyecto integrador evaluó las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del cacao FA y CCN-51 para evidenciar sus diferencias. Se trabajaron con tres diferentes granos de cacao, dos FA de diferentes provincias (Esmeraldas y Los Ríos) y un CCN-51 (Guayas).

Los análisis fisicoquímicos revelaron diferencias significativas en tamaño de grano, humedad, pH, acidez, proteínas y contenido total de polifenoles entre las variedades, mas no en el contenido de grasas. En la evaluación sensorial, el cacao FA mostró tener características más favorables que el CCN-51, confirmando que el FA ofrece cualidades más prometedoras en términos de sabor y aroma.

Palabras claves: Cacao, CCN-51, Fino de Aroma, Propiedades fisicoquímicas, Evaluación sensorial.

Abstract

Cacao is an essential commodity to the Ecuadorian economy, being one of its main export products. Ecuador is known for its Nacional Fino de Aroma (FA) cacao, recognized for its high quality in the international market. In contrast, the CCN-51 Ecuadorian variety, although it has gained ground due to its higher yield and resistance to pests, has inferior sensory quality compared to FA, which could affect the reputation of Ecuadorian cacao.

This project evaluated the physicochemical and sensory properties of FA and CCN-51 cacao to highlight their differences. The study involved three different cacao samples: two FA from different provinces (Esmeraldas and Los Ríos) and one CCN-51 (Guayas).

The physicochemical analyses revealed significant differences in grain size, moisture, pH, acidity, protein content, and polyphenol total content between the varieties, but not in fat content. In the sensory evaluation, the FA cacao exhibited more favorable characteristics compared to CCN-51, confirming that FA offers more promising qualities in terms of flavor and aroma.

Keywords: *Cocoa, CCN-51, Fine Aroma, Physicochemical Properties, Sensory Evaluation*

Índice general

Resumen.....	i
<i>Abstract</i>	ii
Índice general.....	iii
Abreviaturas.....	v
Simbología.....	vi
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	ix
Capítulo 1.....	1
1.1. Introducción.....	2
1.2. Descripción del Problema.....	3
1.3. Justificación del Problema.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Marco teórico.....	5
1.5.1. Cacao.....	5
1.5.2. Variedades e Híbridos de cacao.....	6
1.5.3. Características fisicoquímicas del grano y licor de cacao.....	7
1.5.4. Características sensoriales del licor de cacao.....	9
Capítulo 2.....	11
2. Metodología.....	12
2.1. Materia prima.....	12
2.2. Diseño experimental.....	12
2.3. Preparación de muestra de granos de cacao.....	13
2.4. Elaboración de licor de cacao.....	13
2.5. Análisis físicos.....	14
2.5.1. Tamaño de granos y prueba de corte.....	14
2.6. Análisis fisicoquímicos.....	16
2.6.1. Humedad.....	16
2.6.2. pH y acidez.....	17
2.6.3. Grasa.....	18

2.6.4. Proteína	20
2.6.5. Contenido de polifenoles	21
2.7. Análisis sensorial	22
2.8. Diseño de planta.....	23
Capítulo 3.....	26
3. Resultados y análisis.....	27
3.1. Análisis físicos de los granos.....	27
3.2. Análisis fisicoquímicos del grano y licor de cacao.....	29
3.3. Análisis sensorial del licor de cacao	36
3.4. Diseño de la línea de producción	38
3.5. Costo para la implementación de la línea de producción a escala laboratorio	40
Capítulo 4.....	45
4. Conclusiones y recomendaciones.....	46
4.1. Conclusiones	46
4.2. Recomendaciones	47
Referencias.....	49
Apéndice	59

Abreviaturas

ANOVA	Análisis de Varianza
AOAC	Association of Analytical Communities
CCN-51	Colección Castro Naranjal #51
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FA	Fino de Aroma
GMO	Organismo Genéticamente Modificado
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
ISCQF	International Standards for the Assessment of Cacao Quality and Flavour
NTC	Normas Técnicas Colombiana
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

Simbología

g	Gramos
kg	Kilogramos
ml	Mililitros
m^2	Metros cuadrados
M	Molar
°C	Grados Celsius
pH	Potencial de hidrógeno
C	Cacao CCN-51
E	Cacao Fino de Aroma de Esmeraldas
L	Cacao Fino de Aroma de Los Ríos
%	Porcentaje
\$	Símbolo monetario del dólar
NaOH	Hidróxido de sodio
N	Normal
HCl	Ácido clorhídrico
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
rpm	Revoluciones por minuto
v/v	Volumen sobre volumen
α	Alfa
\geq	Mayor o igual que
μ l	Microlitros
p/v	Peso de soluto sobre volumen de solución

nm Nanómetro

mg Miligramos

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo de la elaboración de licor de cacao.....	24
Figura 2 Tabla relacional de actividades	25
Figura 3 Gráfico de araña de los atributos sensoriales	37
Figura 4 Layout del laboratorio de producción de licor de cacao	39

Índice de tablas

Tabla 1	Requisito de calidad para los granos de cacao.....	15
Tabla 2	Prueba de corte del cacao.....	16
Tabla 3	Códigos de la evaluación sensorial.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4	Resultados de tamaño de grano.....	27
Tabla 5	Resultados de prueba de corte.....	28
Tabla 6	Resultados propiedades fisicoquímicas de los granos	30
Tabla 7	Resultados propiedades fisicoquímicas de los licores	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 8	Demanda y días laborables de producción.....	40
Tabla 9	Lista de inversión de equipos y materiales	40
Tabla 10	Depreciación de materiales y equipos.....	41
Tabla 11	Costos variables de la materia prima y material de empaque.....	41
Tabla 12	Costos variables anuales de materiales indirectos	42
Tabla 13	Costos fijos mensuales.....	42
Tabla 14	Resumen de gastos de producción y precio de licor de cacao	42
Tabla 15	Análisis financiero	43

Capítulo 1

1.1. Introducción

El cacao es uno de los productos más relevantes a nivel mundial, involucrando en su producción entre 5 y 6 millones de agricultores y ocupando el tercer lugar en el mercado de materias primas y productos agropecuarios de exportación (García et al., 2021). En el 2023, el cacao se convirtió en el cuarto producto de mayor exportación no petrolera en Ecuador, con un valor de \$1,171 millones en granos de cacao y un crecimiento anual de la producción del 5%. Se pronostica que podría alcanzar el tercer lugar debido al aumento del precio, que se espera supere los \$9,649 por tonelada métrica en 2024, a raíz de la caída en la cosecha de los países africanos. Aún así, Ecuador es considerado el séptimo principal productor de cacao en grano a nivel mundial y el segundo en Sudamérica, después de Brasil (Orozco, 2024).

En Ecuador existen diversas variedades de cacao, sin embargo, se cultivan principalmente el cacao CCN-51 y el cacao Nacional Fino de Aroma, el primero representa el 89% de la producción a nivel nacional (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2023). El cacao Nacional es una variedad muy reconocida como el cacao Fino y de Aroma, debido a su sutil sabor ‘arriba’, destacando un sabor y aroma floral que se obtiene de una fermentación óptima y un secado natural lento, obteniendo en el 2011 el premio de “Mejor cacao por su calidad oral” y “Mejor grano de cacao por región geográfica” (Quevedo et al., 2022; González et al., 2022). En cambio, el cacao CCN-51, denominado Colección Castro Naranja #51, fue creado en 1965 por Castro-Zurita, siendo un híbrido tolerante a las plagas y de alta productividad y precocidad, pero con menor calidad y características diferentes al grano Nacional; sin embargo, sigue siendo el más sembrado a nivel nacional (Andrade et al., 2019; Mora et al., 2021).

1.2.Descripción del Problema

El cacao ecuatoriano Fino de Aroma es reconocido mundialmente por su alta calidad y características sensoriales únicas (Benítez, 2018; Pino et al., 2018). No obstante, la tendencia creciente entre los pequeños productores de cacao en Ecuador de migrar hacia la variedad CCN-51 representa una amenaza significativa para la preservación y revalorización de esta preciada variedad (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2023).

El principal problema radica en que la elección de los productores por CCN-51 está impulsada por necesidades económicas inmediatas, dado su mayor rendimiento y la resistencia a plagas y enfermedades. Sin embargo, la variedad CCN-51 es criticada por su calidad sensorial inferior y menor valor en el mercado internacional del cacao premium (Rodríguez-Silva et al., 2023; Vera et al., 2014). Por lo tanto, esta transición podría resultar en una pérdida cultural y económica a largo plazo, afectando negativamente la reputación del cacao ecuatoriano en el mercado global y disminuyendo la biodiversidad genética del cacao.

1.3. Justificación del Problema

En Ecuador, aproximadamente el 53% de la superficie de cacao corresponde a CCN-51 y el 43% a cacao Nacional o Fino de Aroma (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2023). La migración de los cacaoteros al grano CCN-51 se debe a su alta productividad, destacándose en parámetros físicos como mayor índice de grano y menor porcentaje de cascarilla, lo que permite mayor rendimiento (Andrade et al., 2019; García-Jerez et al., 2022; Rodríguez-Silva et al., 2023).

En cuanto a los atributos químicos, se ha encontrado que no existen diferencias significativas entre el cacao Fino de Aroma y el CCN-51 (Andrade et al., 2019; Vera et al., 2014). Sin embargo, en los atributos sensoriales, el cacao Fino de Aroma destaca, con un perfil sensorial sutil con características herbales, florales y frutales, siendo favorito en la industria chocolatera. El cacao CCN-51 es percibido con marcadores de acidez, astringencia y amargor, diferentes a los que el mercado internacional espera del cacao ecuatoriano (Rodríguez-Silva et al., 2023; Vera et al., 2014).

Por lo tanto, el desplazamiento del cacao Fino de Aroma por el CCN-51 amenaza la biodiversidad y economía local, así como la reputación del cacao ecuatoriano siendo crucial determinar las diferencias físicas, químicas y sensoriales entre ambas variedades para revitalizar el uso del cacao Fino de Aroma.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades del grano y licor del cacao ecuatoriano Fino de Aroma y CCN-51 para la comparación de su calidad mediante análisis fisicoquímicos y sensoriales.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades fisicoquímicas de los granos y licor de cacao ecuatoriano Fino de Aroma y CCN-51 para el análisis de diferenciación de las variedades.
2. Analizar las propiedades sensoriales del licor de cacao de las diferentes variedades para la identificación de sus diferencias organolépticas.

3. Diseñar una línea de producción a escala laboratorio para la elaboración de licor de cacao, estableciendo los parámetros de operación y costos.

1.5. Marco teórico

1.5.1. Cacao

El cacao (*Theobroma cacao L.*) se cultiva principalmente en las zonas tropicales húmedas del noreste de América del Sur y África (Argüello et al., 2019; Macías et al., 2019). En Ecuador, las estadísticas de 2016 reflejan un crecimiento del sector del 10%, con exportaciones que alcanzaron las 260 mil toneladas métricas, de las cuales el 87% correspondieron a granos y el 13% a productos derivados como licor, manteca, polvo de cacao, entre otros (Moreno et al., 2021; Díaz et al., 2018). Los principales mercados para el cacao ecuatoriano son América (54%), Europa (29%) y Asia (17%) (ANECACAO, 2017). Ecuador es el principal productor mundial de Cacao con Denominación de Origen ‘Arriba’, abarcando el 61% del mercado global (Benítez, 2018; Pino et al., 2018).

En Ecuador, el cacao se cultiva mayoritariamente en la región costera, destacando las provincias de Guayas con una producción de 81.94 toneladas, Los Ríos con 39.26 toneladas y Manabí con 18.26 toneladas (Moreno et al., 2019). Las variedades más cultivadas en el país son Fino de Aroma (35%) y CCN51 (65%) (León et al., 2016). El cacao Fino de Aroma, una variedad reconocida mundialmente, es apreciado por sus aromas y sabores únicos, que se deben a las condiciones climáticas y geográficas de su zona de producción. Esta variedad ha sido clave para posicionar a Ecuador en el mercado global de cacao (Abad et al., 2020). Por otro lado, el CCN-51 (Colección Castro Naranjal 51), desarrollado por Homero Castro Zurita, es una variedad trinitaria altamente productiva y resistente a plagas y enfermedades. Aunque no posee el aroma distintivo del cacao Fino de

Aroma, su productividad es casi seis veces mayor, lo que le ha ganado aceptación entre los agricultores ecuatorianos (Abad et al., 2020).

1.5.2. Variedades e Híbridos de cacao

Según De La Cruz-Medina et al. (2012), existen tres tipos principales de cacao: el Criollo, originario de América del Sur y América Central; el Forastero, procedente de la cuenca del Amazonas; y el Trinitario, un híbrido que se desarrolló en Trinidad & Tobago a partir de los dos primeros tipos. El cacao Criollo se distingue por su sabor amargo, ácido y afrutado, así como por tener cotiledones blancos (Ramos et al., 2020). En contraste, el Forastero, el tipo de cacao más cultivado a nivel mundial, representa aproximadamente el 85% de la producción global debido a su resistencia superior a enfermedades y plagas, aunque su sabor es más fuerte, amargo y ligeramente ácido (Ramos et al., 2020). Por último, el Trinitario combina resistencia y productividad, aunque su calidad se considera inferior a la del Criollo (Ramos et al., 2020).

Sin embargo, investigaciones más recientes, como las de Motamayor *et al.* (2008), han identificado una mayor diversidad genética, reconociendo hasta diez grupos genéticos distintos. Entre estos, el cacao Nacional, cultivado históricamente río arriba del Guayas en Ecuador y conocido localmente como "Arriba", se ha destacado por su aroma floral penetrante y sabor frutal único. Los diez grupos genéticos identificados incluyen Marañón, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purús, Nacional y Guayana. De esta manera en el estudio se estipula que esta nueva comprensión refleja mejor la rica diversidad genética del cacao, superando la simplicidad de la clasificación previa en Criollo, Forastero y Trinitario, y subrayando la importancia del Nacional en la producción de los chocolates más refinados a nivel mundial.

1.5.3. Características fisicoquímicas del grano y licor de cacao

Uno de los atributos clave en los granos de cacao es la uniformidad del tamaño de la almendra. Para la comercialización, el peso promedio de los granos debe ser mayor a 1g (Álvarez et al., 2022). Según la norma ISO N°2451, el tamaño se clasifica contando los granos en 100g: los granos grandes tendrán un conteo menor a 100, los medianos de 101 a 110, los pequeños de 111 a 120 y los diminutos más de 120. Además, se inspecciona visualmente para detectar signos de infestación, como insectos, larvas, mohos, telarañas y excrementos. También se evalúa la facilidad de desprendimiento de la cáscara y las arrugas, ya que más arrugas pueden significar mayores pérdidas durante la transformación (Álvarez et al., 2022; Quevedo et al., 2022).

Según la norma NTC 1252, los granos de cacao deben tener una humedad entre 7 a 7.5%, ya que si es mayor al 8% puede ocasionar un deterioro en el grano, dando lugar a un ambiente propicio para la contaminación y crecimiento microbiano, principalmente de los hongos. Si es menor al 6%, el grano tendrá un aspecto quebradizo, siendo un factor importante en la calidad del grano. Para el licor de cacao, el contenido de humedad aceptable es entre 0.8 a 1.8%, aunque algunas industrias prefieren valores entre 1 y 1.5% (Quevedo et al., 2022; Moreno et al., 2019).

La prueba de corte se utiliza para evaluar y detectar defectos en los granos de cacao. Este proceso implica cortar 50 granos por la mitad con una guillotina. A través de este corte, se pueden identificar diversos estados de los granos: partidos, mohosos, infestados por insectos, semi-fermentados, bien fermentados y pizarrosos. Esta evaluación permite determinar la clasificación comercial del grano, basada en la cantidad de granos bien fermentados y la presencia de defectos (Álvarez et al., 2022).

Los compuestos polifenólicos son indicadores de calidad, ya que el cacao está compuesto por monómeros: 58% procianidinas, 37% epicatequinas y 4% antocianinas, que tienen propiedades antioxidantes e influyen en el sabor del cacao, contribuyendo al sabor astringente y amargo (Álvarez et al., 2022). La presencia de teobromina y cafeína depende del origen genético y geográfico del grano, cuya relación permite diferenciar entre los cacaos Forasteros, Criollos y Trinitarios (Álvarez et al., 2022).

Los granos de cacao tienen un pH entre 3.8 y 5.5, dependiendo de la variedad del grano y del proceso de fermentación. Sin embargo, para la producción de productos derivados del cacao se requieren granos con pH entre 5.2 y 5.8, ya que valores bajos incrementan la acidez y astringencia, mientras que valores altos intensifican el color oscuro (Adomako, 2020). Este parámetro está correlacionado con el contenido de ácido acético y otros ácidos orgánicos obtenidos durante la fermentación. El licor de cacao tiene valores de pH entre 5.0 y 6.2 (Adomako, 2020).

La manteca de cacao es la grasa natural extraída de los granos de cacao, constituida principalmente por ácido palmítico, esteárico y oleico. En el grano de cacao seco, su fracción lipídica ronda el 50%, pero dependiendo de la variedad y condiciones de producción, sus valores pueden variar entre 48 y 58% (Samaniego et al., 2021). El licor de cacao usualmente tiene alrededor de 53.5% de contenido de grasa, con un rango de 48 a 57%. Este componente tiene una correlación negativa significativa con la astringencia, viscosidad y cobertura bucal, además de ser responsable del cambio de textura como la velocidad de fusión (Brown et al., 2023).

1.5.4. Características sensoriales del licor de cacao

El licor de cacao se puede evaluar mediante descriptores de sabores, cuyos atributos a destacar son cacao, acidez, amargor, astringencia, fruta fresca, fruto marrón, madera, especias, nuez, caramelo/panela, grado de tostado, sabores atípicos/defectos y una calidad global del licor evaluado, según el manual *International Standards for the Assessment of Cocoa Quality and Flavour* (Álvarez et al., 2022).

En Rodríguez-Silva et al. (2023) se estudiaron aspectos físicos y sensoriales de muestras de cacao y licor de cacao de 22 genotipos con una alta productividad y dos testigos comerciales reconocidos por su productividad y calidad sensorial. Por el aspecto sensorial se evidenció que en diecisiete genotipos predominaron los atributos especiales, como herbal, floral, frutal, frutos secos y dulce, donde se incluye también a uno de los testigos, pero el otro y los demás genotipos tuvieron como resultados la insatisfacción de los panelistas.

Vera et al. (2014) estudiaron clones de Cacao Nacional basados en atributos sensoriales, evaluando quince clones de cacao (doce experimentales y tres comerciales). Los resultados mostraron que los clones IMC-67, DIRCYT-C129 y DIRCYT-C225 destacaron en intensidad de sabor a cacao. DIRCYT-C114 se destacó en el perfil sensorial floral, mientras que DIRCYT-C129, C251 y C225 presentaron un sabor frutal notable. En cuanto al sabor amargo, los clones DIRCYT-C103, C107, C102, C234 y C228 mostraron alta intensidad. Las notas más astringentes se encontraron en DIRCYT-C107 y DIRCYT-C103, mientras que DIRCYT-C251 presentó la menor astringencia. Por otro lado, la acidez fue mayor en los clones DIRCYT-C107 y CCN-51, atribuida a malas prácticas post-cosecha. Por lo tanto, el estudio indica que las diferencias en perfiles sensoriales se pueden

atribuir a la genética y al manejo post-cosecha, destacando la importancia de estos factores para obtener cacao de alta calidad con perfiles sensoriales deseables.

Capítulo 2

2. Metodología

2.1.Materia prima

Los granos de cacao secos fermentados de la variedad CCN-51 fueron recolectados en Milagro, provincia del Guayas, mientras que los de la variedad Fino de Aroma provienen de las provincias de Esmeraldas y Los Ríos. Las muestras fueron recibidas en junio del 2024, almacenadas y procesadas en el Laboratorio de I+D de chocolate de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Los procesos de fermentación y secado fueron realizados como parte de los procesos independientes de cada finca para cada variedad.

2.2.Diseño experimental

Los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos de las muestras de los granos y licor de cacao fueron sometidos a un análisis comparativo de medias mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey para los análisis de tamaño de grano, porcentaje de humedad en licor, porcentaje de acidez en grano, porcentaje de proteínas y contenido polifenólico en licor de cacao, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, sin embargo, se utilizó la prueba Kruskal-Wallis para los análisis de pH, porcentaje de humedad en grano, porcentaje de acidez en licor y porcentaje en grasa en licor de cacao, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, utilizando el programa MINITAB versión 21. El objetivo fue evaluar si existen diferencias significativas entre las características de las variedades de cacao, planteando las siguientes hipótesis:

Ho: No existen diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos (tamaño del grano, humedad, acidez, pH, grasa, prueba de corte, ceniza, proteína y contenido de polifenoles) entre las variedades CCN-51 y Fino de Aroma.

Ha: Existen diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos (tamaño del grano, humedad, acidez, pH, grasa, prueba de corte, ceniza, proteína y contenido de polifenoles) entre las variedades CCN-51 y Fino de Aroma.

En el QDA (*Quantitative Descriptive Analysis*), se empleó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar sensorialmente las muestras de licor de cacao CCN-51 y FA (Esmeraldas y Los Ríos), con tres repeticiones por muestra y utilizando a los panelistas como efectos fijos. Los datos recopilados fueron procesados con los programas MINITAB versión 21 y Microsoft Excel para su análisis correspondiente.

2.3.Preparación de muestra de granos de cacao

En la metodología AOAC 970.20, con algunas adaptaciones para el análisis fisicoquímico de cenizas, humedad, pH y acidez de los granos de cacao se menciona la aplicación de un pretratamiento de las muestras, para lo que se seleccionaron aleatoriamente 80 granos de cacao con el fin de tener una muestra representativa. Los granos fueron triturados en un premolino CocoaT mini, hasta que el diámetro de las partículas era igual o menor a 5 mm (Asociación de Oficiales Analíticos Químicos, 1970).

2.4. Elaboración de licor de cacao

Se utilizaron aproximadamente 1800 g de granos, que fueron tostados a 125 °C por 35 minutos en un horno de convección Blodgett. Posteriormente, los granos se llevaron al triturador (CocoaTown, USA) a una velocidad de triturado de 80 en FWD (Forward) y, para lograr la separación de la cascarilla, el grano triturado fue llevado a un descascarillador Deluxe winnower (CocoaT, USA) con una velocidad de tornillo de 45 y ½ de apertura de la válvula de aspiración, para obtener los nibs de cacao. Posteriormente, se realizó una limpieza manual

para eliminar los nibs que tenían cascarilla adherida. Los nibs limpios fueron pre-calentados a 44 °C durante 20 minutos y molidos en el Alpha12 Melanger (CocoaTown, USA), hasta alcanzar un tamaño de partícula entre 20 y 22 micras, durante 9 a 12 horas. Luego, el licor obtenido fue moldeado, colocado a 12 °C para permitir su solidificación, y finalmente, envasado en fundas Ziploc y almacenado entre 12 y 15 °C.

2.5. Análisis físicos

2.5.1. Tamaño de granos y prueba de corte

De acuerdo con la metodología ISO N°2451, se realizó el conteo de granos en 100g de muestra. Este proceso se llevó a cabo por triplicado. Los granos fueron clasificados de la siguiente manera según la ISO N°2451: granos grandes conteo menor a 100, medianos de 101 a 110, pequeños de 111 a 120 y diminutos más de 120.

La prueba de corte se realizó utilizando una guillotina de granos (Tesserba Magra 14, Suiza). Se seleccionaron aleatoriamente 100 granos, los cuales se cortaron longitudinalmente para dividirlos en mitades y exponer su interior, permitiendo así el análisis de calidad del grano según los requisitos de la norma NTE INEN 176:2021 como se evidencia en la Tabla 1.

Los granos de cacao fueron clasificados de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 2 según Lestari et al. (2019), y se calculó el porcentaje de la clasificación de los granos mediante la ecuación 1.

Tabla 1*Requisitos de calidad para los granos de cacao*

REQUISITOS	GRANOS DE CACAO			MÉTODOS DE ENSAYO
	GRADO 1	GRADO 2	GRADO 3	
Humedad, máxima, %	7	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos, g	>130	>120 a 130	100 a 120	-
Granos fermentados, mínimo, %	75	65	53	NTE INEN-ISO 1114
Granos violetas, máximo, %	15	21	25	NTE INEN-ISO 1114
Granos pizarrosos, máximo, %	9	12	18	NTE INEN-ISO 1114
Granos mohosos, máximo, %	1	2	4	NTE INEN-ISO 1114
TOTALES (análisis sobre 100 granos), mínimo	100	100	100	-
Granos defectuosos, máximo, %	0,5	1,0	3,0	-
Material relacionado con los granos de cacao, máximo, %	1,0	1,0	1,0	-
Material extraño, máximo, %	0,75	0,75	0,75	-

Nota. Datos tomados del Instituto Ecuatoriano de Normalización (2021).

Tabla 2

Cuadro de Prueba de corte del cacao

FIGURA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	Fermentación total	Los granos de cacao marrones tienen textura hueca. El proceso de fermentación está completo.
	Parcialmente morado	Algunos granos de cacao están morados y otros cafés. Esto suele producirse por una fermentación imperfecta.
	Totalmente morado	Granos de cacao totalmente morados. Esto es resultado de un proceso de fermentación corto (menos de 1 semana).
	Pizarroso	Los granos de cacao son morados, grises y poseen una textura sólida. Esto es resultado de un proceso de fermentación corto (menos de 3 días).
	Mohoso	Los granos de cacao son cafés y existe presencia de hongos en la cavidad de los granos. Esto es resultado de un mal proceso de fermentación.

Nota. Datos tomados de Lestari et. al. (2019).

$$\% \text{Tipo de Grano} = \frac{\text{Cantidad del tipo de grano}}{\text{Total de granos}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

2.6. Análisis fisicoquímicos

2.6.1. Humedad

La humedad de los granos y licor de cacao se determinó siguiendo la metodología AOAC 931.04 y considerando la norma ecuatoriana NTE INEN-ISO 2291 con algunas

adaptaciones. Primero, se calentaron y secaron las cajas metálicas en la estufa de calentamiento de la marca Thermo Scientific a 100°C durante 30 minutos, se enfriaron en un desecador y se pesaron vacías empleando una balanza analítica. Luego, se pesaron 2 g de las muestras preparadas, y se calentaron en la estufa a 100°C durante 3 horas. Después de enfriarlas en el desecador, cada caja fue pesada. La operación de calentamiento, enfriamiento y pesaje se repitió por una hora adicional, hasta comprobar que el peso se mantuviera constante. El análisis se realizó por triplicado. La ecuación 2 se empleó para la determinación del porcentaje de humedad en las muestras.

$$\%H = \frac{m - m1}{m} \times 100 \quad (Ec. 2)$$

Donde,

%H: Pérdida por calentamiento o humedad

m= masa de la muestra inicial en gramos

m1= masa de la muestra final en gramos.

2.6.2. pH y acidez

El pH se determinó por triplicado mediante la metodología de Mera (2023). Se midieron 10 g de cada muestra en un vaso de precipitación y se añadieron 90 ml de agua destilada hirviendo. Luego, se agitó la mezcla con agitador magnético durante 10 minutos y se filtró cada muestra. Finalmente, se introdujo el electrodo del pH-metro digital portátil *Multi-Parameter PCS Testr 35 OAKTON* para realizar la lectura del pH (Mera, 2023).

De acuerdo con la normativa AOAC 942.15 con algunas adaptaciones y realizado por triplicado, se determinó la acidez de los granos y del licor de cacao. Se pesaron 5 g de

cada muestra y se añadieron 10 ml de etanol y 90 ml de agua destilada. Luego, se agitó la muestra durante 10 minutos, se añadieron 3 gotas de indicador fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1N hasta que se evidenció un cambio de coloración. La acidez se calculó mediante la ecuación 3 y fue expresada en porcentaje de ácido acético (Mera, 2023):

$$A = \frac{N \times V \times P_{mq}}{g_{muestra}} \times 100 \quad (Ec. 3)$$

Donde,

A= % de acidez de la muestra

V= Volumen de NaOH 0.1N consumido

N= Normalidad del titulante

P_{mq} = Peso molecular del ácido en mayor proporción expresado en miliequivalente.

$g_{muestra}$ = Peso de la muestra en gramos

2.6.3. Grasa

Para la determinación del contenido graso en el licor de cacao se siguió la metodología AOAC 963.15 y la normativa NTE INEN 535:2013 con algunas adaptaciones. El análisis se realizó por duplicado. Primero, se prepararon las muestras de licor de cacao, para lo cual se rallaron alrededor de 20 g de licor de cacao. Luego, se tomó 3 g de licor rallado y se colocaron en un vaso de precipitación. Seguido, se añadió lentamente 45 ml de agua destilada hirviendo, manteniendo la agitación con una plancha de calentamiento para obtener una suspensión homogénea. Paso siguiente, se procedió a añadir 55 ml de HCl 8 M y se mezcló 10 minutos por agitación.

Se cubrió el vaso con una caja Petri y se hirvió por 15 minutos en una plancha de calentamiento. Seguido, se enjuagó la caja Petri con 100 ml de agua destilada y se depositó el enjuague dentro del vaso. Posteriormente, se filtró lo digerido a través de un papel filtro estándar plegado y se enjuagó el vaso por tres ocasiones con agua destilada. Finalmente, se transfirió el papel filtro húmedo y su residuo a una placa Petri y se secó por 6 horas a 100°C en una estufa.

Por otro lado, para la preparación de los balones de ebullición se secó cada balón en la estufa a una temperatura aproximada de 100 °C, durante 1 hora. Después de este tiempo, se retiraron de la estufa y se colocaron en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, para proceder a pesarlos y registrar su peso. Se retiró el papel filtro y residuo retenido de la estufa y se colocaron en el desecador hasta temperatura ambiente; luego se procedió a hacer un cartucho con otro pedazo de papel filtro estándar, se sellaron los extremos y después fueron ubicados dentro del equipo Soxhlet.

Se añadió 100 ml de hexano dentro del equipo Soxhlet, donde se encontraban los cartuchos de extracción de grasa y los balones de ebullición previamente secados y tarados. El residuo de la digestión fue sometido a reflujo por 4 horas para lo cual se ubicó el termostato de cada plancha de calentamiento del equipo Soxhlet en una posición que dio un calentamiento capaz de generar en el extractor un sifoneo aproximado ≥ 30 veces/hora o una taza de condensación aproximada de 5 - 6 gotas/segundo.

Una vez terminada las 4 horas, el balón de ebullición fue retirado del equipo Soxhlet y el solvente fue evaporado en un baño de agua caliente y vapor. Acto seguido se colocó el balón en la estufa a 100 °C por 2 horas y una vez terminado el tiempo se lo colocó en el desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se anotó su peso. Finalmente, el

contenido de grasa en porcentaje es calculado usando la ecuación 4, la cual involucra el peso inicial y final del balón de ebullición:

$$\%G = \frac{m_2 - m_1}{m \cdot 100} \quad (Ec. 4)$$

Donde,

%G= Porcentaje de grasa en la muestra

m2= peso del matraz con grasa extraída en gramos

m= peso de la muestra en gramos

m1= peso del matraz vacío

2.6.4. Proteína

Las proteínas del licor de cacao se determinaron por duplicado y siguiendo la AOAC 970.22 con algunas adaptaciones específicas. Por lo que primero, se pesaron 0.7 g de las muestras desgrasadas previamente, se añadieron 7 g de sulfato de potasio, 0.8 g de sulfato de cobre y 15 ml de ácido sulfúrico. Luego, se llevó al digestor del equipo Kjeldahl por una hora y se realizó la destilación del Büchi dosificando 50 ml de agua destilada y 90 ml de NaOH al 40% y teniendo como receptor en un vaso de precipitación 50 ml de ácido sulfúrico 0.1 N. Finalmente, en el vaso de precipitación que contiene el destilado, se agregó 5 gotas del indicador rojo de metilo y azul de metileno, y se tituló con NaOH 0.1 N hasta observar un cambio en la coloración. Se utilizó la ecuación 5 para la determinación del porcentaje de proteínas:

$$\%P = \frac{(Bk - Vm) \times N \times f \times 0.014 \times 6.25 \times 100}{Pm} \quad (Ec. 5)$$

Donde,

%P= Porcentaje de proteína

Bk= Volumen del blanco

Vm= Volumen del titulante consumido en la muestra

N= Normalidad del NaOH

f= Factor de corrección

Pm= Peso de la muestra en gramos

2.6.5. Contenido de polifenoles

El primer paso para obtener el contenido de polifenoles es la extracción de grasa. Para esto, se preparó la muestra empezando por moler los granos de cacao con el objetivo de obtener aproximadamente 1 g de cacao en polvo. El polvo fue desengrasado usando la técnica de Soxhlet con hexano durante 4 horas (Razola et al., 2023).

El siguiente paso es la extracción metanólica la cual consistió en pesar 0.5 g de cacao en polvo desengrasado y añadirle 5 ml de una solución de metanol/ácido clorhídrico (1000:1) al 80% (v/v) en agua destilada. Las muestras se agitaron a 200 rpm durante 16 horas. Luego, se centrifugaron a 5000 rpm durante 5 minutos a 5 °C. El extracto obtenido se mantuvo refrigerado para su posterior análisis (Cáceres et al., 2014).

El último paso es la determinación del contenido fenólico total, para lo cual se utilizó el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu. Siguiendo las recomendaciones de Torino et al. (2013), los reactivos se usaron a temperatura ambiente y las muestras y patrones se realizaron por triplicado.

Con la muestra lista, se preparó una dilución (1/200) con agua destilada, luego, en un tubo Eppendorf, se mezcló una alícuota de 100 µl de la dilución con 625 µl de agua destilada, 250 µl de carbonato de sodio al 7.5% (p/v) y 25 µl del reactivo de Folin. Las mezclas se agitaron en un vórtex y se incubaron en oscuridad, a temperatura ambiente, durante 2 horas. La absorbancia se midió por triplicado a 739 nm utilizando una placa multipocillo, añadiendo 200 µl de muestra en cada pocillo. Finalmente, se preparó una curva patrón de ácido gálico con diferentes concentraciones (0 - 135.0 mg/ml). Los resultados se expresaron como mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de materia seca (Torino et al., 2013).

2.7. Análisis sensorial

Para el análisis sensorial de los licores de cacao se optó por realizar una prueba descriptiva QDA (Quantity Descriptive Analysis) utilizando el formato del *International Standards for the Assessment of Cacao Quality and Flavour* de la Organización Cacao de Excelencia (Véase Apéndice A), ya que esta prueba permite clasificar y diferenciar de manera efectiva muestras de cacao en función de sus atributos sensoriales.

Las evaluaciones fueron realizadas por el panel sensorial entrenado de chocolate de ESPOL, conformado por 8 panelistas con más de 60 horas de entrenamiento. El entrenamiento del panel sensorial se llevó a cabo de acuerdo con el glosario y léxico de Cacao de Excelencia, siguiendo las pautas establecidas por el *International Standards for the Assessment of Cacao Quality and Flavour* (ISCQF).

Se evaluaron en una escala del 0 al 10 los atributos de grado de tostado, cacao, amargor, astringencia y acidez, fruta fresca, fruta marrón, vegetal, floral, madera, especias, nuez, caramelo/panela, sabores atípicos/defectos y calidad global

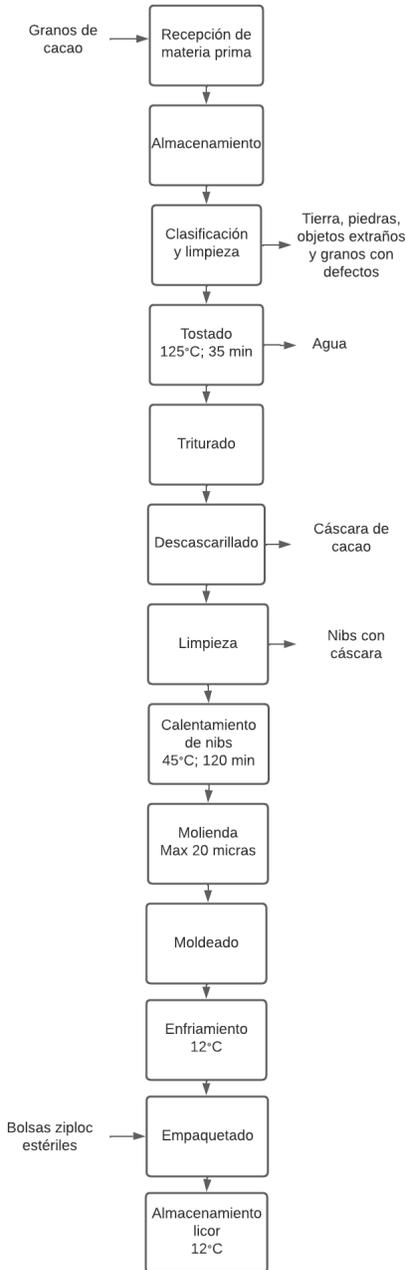
A cada muestra se le asignó un código de 3 dígitos. Las muestras fueron cortadas, colocadas en recipientes plásticos (2.5 g por recipiente), y finalmente derretidas a baño María a 45 °C. Cada una de las muestras fue evaluada por triplicado; además de la muestra de referencia que era degustada al principio de cada sesión para la calibración de los panelistas.

2.8.Diseño de planta

Se propuso el diseño de una línea de producción de licor de cacao a escala de laboratorio, ubicada en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESPOL. Para ello, se dividió las operaciones para la elaboración del producto en 3 áreas. En la primera área, se consideró las actividades de recepción de los granos de cacao, almacenamiento de la materia prima, clasificación y limpieza; en la segunda área: el tostado, triturado, descascarillado y limpieza de los nibs, y en la última: el calentamiento de nibs, molienda, moldeado, enfriamiento, empaquetado y almacenamiento del licor de cacao; siguiendo el flujo de su elaboración como se evidencia en la Figura 1. Además, se consideraron espacios extras como una oficina, laboratorio de calidad y área de sanitización.

Figura 1

Diagrama de flujo de la elaboración de licor de cacao



Se realizó un análisis de recorrido de productos, siendo una herramienta muy útil para comprender y optimizar los procesos de la producción de cacao e identificar las distintas etapas como son: operación, inspección, almacenamiento, espera y transporte. También, se realizó

una tabla de relación de actividades para obtener una mejor distribución de las etapas, en el cual se designó una letra de acuerdo con la relación de proximidad entre actividades siendo: A (absolutamente necesaria), E (especialmente importante), I (Importante), O (ordinaria), U (sin importancia) y X (rechazable) como se evidencia en la figura 2.

Figura 2

Tabla relacional de actividades

Actividades																					
1	Recepción de granos de cacao	A																			
2	Almacenamiento de granos de cacao	1	I																		
3	Clasificación y limpieza	E	1	I																	
4	Tostado	1	1	1	U																
5	Triturado	E	1	1	2	I															
6	Descascarillado	1	1	1	2	3	O														
7	Calentamiento de los nibs	A	1	1	2	3	4	X													
8	Molienda	1	1	1	2	3	4	6	X												
9	Envasado	E	1	1	2	3	4	6	6	X											
10	Enfriamiento	1	1	1	2	3	4	6	6	6	X										
11	Almacenamiento de licor de cacao	O	1	1	2	3	4	6	6	6	6	X									

Se utilizó el programa CORELAP para la obtención de una distribución óptima para el laboratorio considerando las relaciones entre actividades y el mejor flujo de producción para la minimizar el cuello de botella y reducir los tiempos y costos de producción. Finalmente, se utilizó el programa de diseño asistido AutoCAD para la diagramación del diseño detallado y preciso de las dimensiones del laboratorio en 2D.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1. Análisis físicos de los granos

Los tres tipos de variedad de cacao fueron clasificados como granos grandes según la normativa ISO N°2451 debido a que todas variedades tenían un conteo menor a 100 granos en 100g como se muestra en la tabla 3. Estos resultados no difieren a las investigaciones de Alviárez et al. (2022), quienes analizaron el cacao Nativo Fino de Aroma en diferentes áreas del noreste de Perú, cuyos valores fueron entre 74 y 70, siendo clasificados como granos grandes. Además, se realizó un análisis comparativo entre las variedades, demostrando que existe una diferencia significativa en el tamaño del grano entre las variedades como se evidencia en el Apéndice B, siendo los granos de CCN-51 más grandes que los de Fino de Aroma, logrando tener una mayor productividad que este, aunque también existe una diferencia entre las muestras FA, lo cual puede ser causado por factores climáticos en la diferentes zonas como son la temperatura, humedad, precipitación entre otros, afectando en el desarrollo de los cultivos, limitando su crecimiento y productividad (Garay et al., 2024).

Tabla 3

Resultados promedio del conteo de granos de las diferentes variedades CCN-51 (C), Fino de Aroma Esmeralda (E) y Fino de Aroma Los Ríos (L). Diferentes letras indican diferencia significativa ($\alpha \leq 0.05$).

Tipo del grano	Promedio del conteo
C	61 ± 1.53 ^a
E	79 ± 2.08 ^b
L	95 ± 0.00 ^c

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la prueba de corte de los tres granos evaluados. El grano con mejor fermentación es el grano L, con un índice de fermentación del

93 %, y los granos C y E poseen índices de fermentación más bajos con 78 % y 73 % respectivamente. La norma NTE INEN 176:2021 (Véase Tabla 1) indica que todos los granos pertenece a un grado 3 debido a su infestación de moho, lo cual puede ser debido a fallas en los procesos de cosecha y almacenamiento. Sin embargo, con el porcentaje de fermentación ya mencionado se infiere que existe deficiencias en el proceso fermentativo especialmente en los granos C y E. Erazo et al. (2021) y García et al. (2021) indican que es común que el CCN-51 tenga índices bajos rondando el 80% y el Nacional valores superiores, por eso han realizado estudios centrados en encontrar formas de mejorar el índice de fermentación en el grano CCN-51, pues existe el precedente de bajos índices pese a realizar un correcto proceso de fermentación. Morales et al., 2016 logró mejorar el proceso utilizando enzimas logrando así llegar a un 80 % de fermentación para el CCN-51. La fermentación adecuada desarrolla los precursores de sabor y aroma, mientras que el secado uniforme reduce la humedad y estabiliza el grano. Sin un control riguroso, es difícil garantizar la consistencia en las características sensoriales, como el sabor y aroma, lo que afecta la evaluación y comparabilidad de las muestras. La falta de información sobre estos procesos genera incertidumbre, ya que cualquier variación puede alterar significativamente el perfil del cacao, afectando su calidad final y su potencial en productos como el licor de cacao (Morales et al., 2016).

Tabla 4

Resultados de la prueba de corte de las diferentes variedades CCN-51 (C), Fino de Aroma Esmeralda (E) y Fino de Aroma Los Ríos (L). Cada fila indica el número de granos con dicha característica encontrados en una muestra de 100 granos aleatorios.

Tipo del grano	Fermentados	Violetas	Pizarrosos	Mohosos
C	78	16	2	4
E	73	17	6	4
L	93	4	0	3

3.2. Análisis fisicoquímicos del grano y licor de cacao

En el pH de los granos, la prueba de Kruskal-Wallis (Véase Apéndice C) indicó un valor p de 0.027 inferior a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se determina que, al menos, una muestra es diferente. En la Tabla 5 se observa que el grano E posee un pH mucho mayor (6.54 ± 0.05) en comparación al grano C y L que poseen pH menores (5.29 ± 0.02 y 5.51 ± 0.03 respectivamente).

Según Adomako (2020), los granos C y L poseen pH normales alrededor de 5.5 o menos, pero el grano E no presenta un pH aceptable ya que está por encima de 6.5. Según Loureiro et al. (2017) y García et al. (2019), un grano con un proceso fermentativo deficiente es propenso a presentar un pH alto lo que a su vez influye en un color más oscuro, una menor acidez y mayor presencia de atributos sensoriales de astringencia y amargor. Los estudios indican que la selección del proceso fermentativo varía según la variedad y el origen del grano, pero usualmente suelen rondar en 1 semana o más. El pH durante el proceso fermentativo tiende a reducir, por lo tanto, se puede inferir que el grano E posee un proceso fermentativo ineficiente, lo cual es causante de su elevado pH. Según la tabla 4 se puede apreciar cómo se relaciona el alto pH con su bajo índice de fermentación, probablemente por un tiempo de fermentación reducido.

El pH del grano CCN-51 (C) y el otro grano Fino de Aroma (L) se asemejan a valores como los reportados por Andrade et al. (2019) donde se reporta un valor alrededor de 5.18 para el cacao Fino de Aroma y un valor de 5.36 para el CCN-51 cuando los procesos de fermentación son los correctos. Para los granos de cacao se desea que el pH se encuentre entre 4.5 a 5.5 para que exista una mayor acidez y se desarrollen sabores característicos del licor de cacao, por lo tanto, el grano C y L no presentan una variación amplia en su pH y están cercanos

dentro del rango óptimo para su posterior producción. Sin embargo, el proceso de fermentación de los granos necesita ajustes para obtener mejores resultados.

Por otro lado, en la tabla 6 se presenta el pH de los licores de cacao. Se puede observar que el pH no varía mucho entre grano y licor, confirmando que no existe un cambio significativo del pH luego del proceso de molienda de los granos, establecido también por Quevedo et al. (2018). La misma diferencia que existió en los granos se pudo evidenciar con la prueba de Kruskal-Wallis (Véase Apéndice D) que confirmó la diferencia significativa entre los 3 licores.

Tabla 5

Resultados promedio de las propiedades fisicoquímicos de los granos de cacao de las diferentes variedades CCN-51 (C), Fino de Aroma Esmeralda (E) y Fino de Aroma Los Ríos (L). Diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa ($\alpha \leq 0.05$).

Tipo del grano	pH	%Acidez	%Humedad
C	5.29 ± 0.02	0.61 ± 0.01 ^a	5.29 ± 0.16
E	6.54 ± 0.05	0.57 ± 0.00 ^b	7.17 ± 0.13
L	5.51 ± 0.03	0.52 ± 0.01 ^c	5.59 ± 0.16

Tabla 6

Resultados promedio de las propiedades fisicoquímicos del licor de las diferentes variedades de cacao CCN-51 (C), Fino de Aroma Esmeralda (E) y Fino de Aroma Los Ríos (L). Diferentes literales indican en la prueba Tukey una diferencia significativa ($\alpha \leq 0.05$).

Tipo del licor	pH	%Acidez	%Humedad	%Grasa	%Proteína	Contenido de Polifenoles
C	5.34±0.03	1.25±0.00	2.59 ± 0.15 ^a	49.78±0.08	6.07 ± 0.04 ^a	279.68 ± 0.02 ^a
E	6.32±0.04	1.23±0.00	2.43 ± 0.08 ^a	58.92±0.00	19.25 ± 0.01 ^b	276.21 ± 0.37 ^b
L	5.48±0.01	1.50±0.07	1.98 ± 0.02 ^b	59.52±0.04	10.52 ± 0.04 ^c	286.15 ± 0.24 ^c

Como se muestra en la tabla 6 y en el apéndice E, existió diferencia significativa en la acidez de los granos, teniendo el CCN-51 mayor porcentaje que las variedades de Fino de Aroma. Asimismo, en las investigaciones de Andrade et al. (2019) se presenta que el grano CCN-51 del Ecuador tuvo el mismo promedio porcentaje de acidez de 0.61 al igual que en la tabla 6, pero el porcentaje de acidez del grano nacional del Ecuador fue mayor al CCN-51 con un valor a 0.82 %, diferente a los resultados de los granos Fino de Aroma analizados, menores a los del CCN-51 con valores inferiores a 0.57% como se muestra en el apéndice E, aunque el porcentaje de acidez en el grano puede verse afectado durante el proceso de fermentación. También, el porcentaje de acidez se ve influenciado por el pH de cada grano, teniendo un comportamiento inversamente proporcional, es decir, a menor pH mayor porcentaje de acidez.

Como indica el apéndice F, la acidez de los licores de cacao también son diferentes, siendo el licor de Los Ríos mayor, a pesar de que el pH del CCN-51 fuera el menor como se muestra en la tabla 6, esto puede deberse a que el tiempo de molienda fue mayor en Los Ríos. Según Bravo (2020), el porcentaje de acidez en el licor de cacao CCN-51 fue de 1.26%, cercano al valor de la tabla 6 que fue 1.25%, además en las investigaciones de Armijos (2002), muestran que el cacao (*Theobroma cacao L.*) fino y ordinario de producción nacional tiene valores de acidez entre 1.2% y 1.6%, acordes a los valores obtenidos en la tabla 6. También, se puede evidenciar el porcentaje de acidez en el licor aumentó en comparación del grano, esto puede deberse a la concentración de los compuestos ácidos en el proceso de la molienda, ya que distribuyen de manera uniforme los ácidos, intensificando su presencia en el licor de cacao (Adomako, 2020).

La humedad de los granos mostró diferencia significativa entre las muestras (Véase Apéndice G). Observando la Tabla 5 se puede corroborar que el grano E es el que presenta una mayor humedad ($7.17\% \pm 0.13\%$) con respecto a los granos C y L ($5.29\% \pm 0.16\%$ y $5.59\% \pm 0.16\%$ respectivamente) los cuales presentan valores de humedad más cercanos entre sí.

Según la norma NTC 1252, el grano E es el único que está dentro de los parámetros aceptables de calidad en cuanto a su humedad, ya que está entre 7 y 7.5 %. Los granos C y L se encuentran debajo de este rango lo cual los hace entrar en el espectro de granos quebradizos según la norma. Un proceso de secado excesivo puede ser los causantes que los granos C y L tengan una humedad baja. No es favorable para la calidad del licor de cacao que los granos tengan una humedad inferior a 6%, ya que puede ocasionar problemas al momento de la molienda como dificultar la homogeneidad del producto final, obtener rendimientos más bajos y también en la pérdida de compuestos volátiles importantes durante el secado (Aguilar, 2016).

Andrade et al. (2019) muestran que no existe una gran diferencia en lo que concierne a humedad entre el grano CCN-51 y el Fino de Aroma, ya que ambos granos se encuentran en un valor alrededor del 6%. Los granos C (CCN51) y el grano Fino de Aroma L tienen valores cercanos de humedad (Véase prueba de Tukey en Apéndice G), por lo que a pesar de que los granos no tienen valores óptimos de humedad, sí concuerdan con datos de estudios que indican una proximidad en la humedad entre las dos variedades. Por lo tanto, Andrade et al. (2019) estipula que el proceso de secado es crucial en la calidad final de los granos de cacao, ya que reduce la humedad a niveles óptimos, evitando el crecimiento de moho y fermentaciones indeseadas. Un secado adecuado preserva los compuestos aromáticos, mejorando el sabor y aroma del cacao. Además, contribuye a la estabilidad del grano durante el almacenamiento y transporte.

Por otro lado, en la Tabla 6 podemos encontrar la humedad de los licores de cacao de las tres muestras. Se puede observar que existe una caída significativa de la humedad una vez procesados los granos a licor. Esto se debe a que el calor tanto en el proceso de tostado como en el proceso de molienda ocasionan una pérdida de agua. Quevedo et al. (2022) indican que un licor de cacao óptimo posee una humedad entre 0.8% a 1.8%, ya que en el licor de cacao es crucial para mantener su calidad. Si la humedad es mayor, puede afectar las características sensoriales, como el sabor y aroma, al favorecer el crecimiento de moho y la rancidez de las grasas. Además, un contenido de humedad elevado puede alterar la textura del licor, haciéndolo más pastoso y difícil de manejar en procesos como el templado o moldeado. Esto también puede comprometer la estabilidad del producto, reduciendo su vida útil y aumentando el riesgo de defectos durante el almacenamiento. Por lo tanto, ninguno de los licores cumple con el parámetro de humedad óptimo, siendo el licor L el más cercano con 1.98% y el licor C el más lejano con 2.59%. Se considera que el problema estuvo presente en la molienda, ya que durante esta si el licor no llega a una temperatura alrededor de los 45°C por la misma velocidad de molienda es conveniente tener una fuente de calor externa que ayude al licor a llegar a esa temperatura para que así se puede llegar al rango de humedad requerido, y en el proceso no se tenía dicha fuente de calor externa.

En el apéndice H se indica que existe diferencia significativa entre las muestras. Aunque no cumplen con el parámetro de humedad, se puede inferir mediante la Tabla 7 que los granos E y L (Finos de Aroma) tienen humedades inferiores a la del grano C (CCN51), lo que significa que estos granos están más cerca de alcanzar el valor deseado (0.8% a 1.8%). Erazo et al. (2021) corrobora que es más fácil llegar al valor de humedad deseado con la variedad Fino de Aroma que con la variedad del CCN-51, debido a diferencias en la estructura

y composición de los granos. Los granos finos de aroma tienden a tener una menor densidad y un contenido de grasa más alto, lo que facilita un secado más uniforme y rápido. Por otro lado, el CCN-51, que es un grano más denso y con mayor contenido de humedad inicial, suele retener más agua, haciendo más difícil reducir su humedad a niveles óptimos. Estas diferencias en la estructura celular también pueden influir en la tasa de evaporación del agua durante el secado.

En el porcentaje de grasa en el licor de cacao tuvo como resultado que no existe una diferencia significativa entre las variedades de cacao, sin embargo, las variedades de FA tuvieron valores mayores que el de CCN-51. Según Bravo (2020), el licor de CCN-51 tuvo mayor porcentaje de grasa con 50.52% cercano al valor 49.78% obtenido en la tabla 6, en comparación con el licor del cacao FA, esto puede depender de la variedad y ubicación de la plantación. Además, el porcentaje de grasa de los licores de cacao está entre 48 a 57% de acuerdo con Brown et.al. (2023), estando el CCN-51 dentro de este rango en comparación de los FA, sin embargo, al tener mayores valores permiten desarrollar una textura más suave, la difusión de sabores aromáticos en el paladar y una presentación más brillante, por lo que permite ser más atractivo sensorialmente (Brown et.al., 2023).

Por otra parte, el análisis de los porcentajes de proteínas entre las diferentes variedades tuvo como resultado que existe una diferencia significativa entre las variedades (Véase Apéndice J). El licor de cacao FA de Esmeralda tiene mayor porcentaje de proteínas que los demás, especialmente que el de CCN-51 como se evidencia en la tabla 6, lo cual favorece su valor nutricional. Según Neira (2021), el licor de cacao CCN-51 tuvo como resultado 16.86% de proteínas, diferente al valor obtenido en la tabla 6, esto puede deberse a una falla en el análisis, pues se utilizaron las mismas muestras que emplearon para obtener el porcentaje de grasa, teniendo baja cantidad de muestras desgrasadas para el análisis de

proteínas, además, pedazos de filtro de papel utilizado para el Soxhlet pudo infiltrarse en las muestras desgrasadas, afectando el resultado. En cambio, en las investigaciones de Bravo (2020), el porcentaje de proteínas en el licor de cacao Nacional es alrededor de 13.07%, diferentes a los valores de los licores Fino de Aroma en la tabla 6, esto se puede deber a diferentes factores como el tipo de cacao, tipo de fermentación y zona (Neira, 2021).

Por último, el contenido de polifenoles se realizó una prueba ANOVA (Véase Apéndice K) donde se indicó que existe diferencia significativa entre las muestras en base a su contenido de polifenoles. En la tabla 6 se puede notar que el licor L posee un mayor contenido polifenólico que las otras muestras. Además, la prueba de Tukey (Véase Apéndice K) muestra una clara diferencia del licor L con los otros dos que sí poseen una similitud en sus resultados.

Según estudios como Nazario et al. (2014) y Vera et al. (2024) es difícil decidir si es conveniente tener un mayor o menor contenido de polifenoles, ya que estos brindan sabores característicos como el amargor al licor, pero también pueden ocasionar una mayor astringencia; al final siempre dependerá de las características que se deseen en el producto final, y para el caso de este estudio la evaluación sensorial detallada en el siguiente punto nos ayudó a interpretar cómo afecta el contenido polifenólico en la percepción organoléptica de los licores.

No obstante, también se detalla en Nazario et al. (2014) que la variedad de CCN-51 trabajada por ellos presenta mayor contenido de polifenoles que los Finos Aromas, pero en cambio Vera et al. (2024) encuentra variedades de Fino de Aroma con un mayor contenido de polifenoles que el CCN-51. Además, ambos estudios varían mucho con el

valor detectado en ambos casos, por lo que no sorprende que los valores de las 3 muestras trabajadas no se asemejen a los de los estudios, ya que el contenido de polifenoles depende mucho del proceso fermentativo, del secado y del tostado al que se sometieron los granos (Vera et al., 2024).

3.3. Análisis sensorial del licor de cacao

En la figura 3 se presenta un resumen de los atributos evaluados para el análisis sensorial para cada una de las muestras. Por inspección simple, se nota que existen atributos como el cacao, amargo, acidez y astringencia, mucho más marcados en las muestras que atributos como vegetal, nuez o especiado.

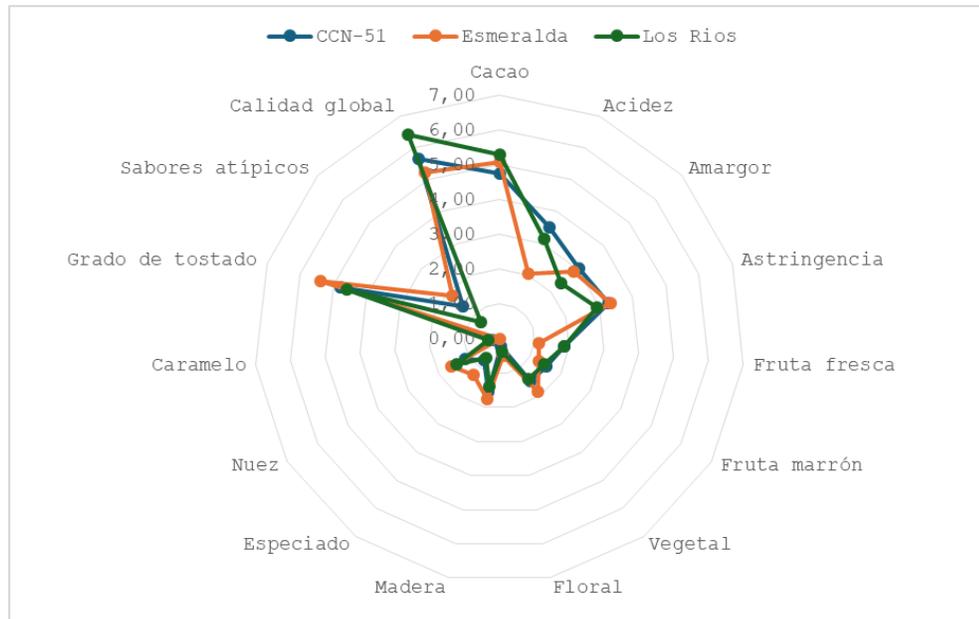
Por otro lado, en el Apéndice L se detalla las pruebas Kruskal-Wallis realizadas para cada atributo evaluado. Los atributos de cacao, astringencia, fruta marrón, vegetal, floral, madera, especiado, nuez, caramelo y grado de tostado no presentan diferencias significativas en las tres muestras; los de acidez, amargor, fruta fresca, sabores atípicos y la calidad global sí lo hacen entre las 3 muestras evaluadas.

Observando la Figura 3 se pudo inferir que la muestra de CCN-51 posee acidez y amargor mucho más altos que las muestras del Fino de Aroma, inclusive posee una alta astringencia similar al licor E que fue catalogado como el más astringente. El alto contenido de humedad con el que terminó la muestra de cacao CCN-51 y el deficiente proceso de fermentación pudieron ser uno de los factores para que no se desarrollaran compuestos esenciales como los polifenólicos ya detallados anteriormente que brindan sabor característico a la muestra y evitara la presencia de sabores adversos, ya que se encontraron sabores atípicos en la muestra. Por otro lado, el proceso de fermentación deficiente en la

muestra E que causó un pH alto y la presencia de granos pizarrosos, pudo ser el causante para que la muestra sea catalogada como la más astringente y la menos ácida, así como la presencia sabores atípicos como el sabor a quemado que detectaron los panelistas. Finalmente, la muestra de Fino de Aroma L es la que posee las mejores características en general destacando su alta presencia de cacao, principalmente se cree que como la muestra tuvo un buen índice de fermentación, y por ende un pH y acidez aceptable, y el contenido de humedad estuvo cerca del deseado se dio lugar al desarrollo de contenido polifenólicos (se puede notar en la Tabla 7 que la muestra L posee el contenido polifenólico más alto) lo cual pudo influir directamente para que esta muestra haya tenido el mejor perfil sensorial de entre las muestras evaluadas.

Figura 3

Gráfico de araña de los atributos sensoriales evaluados en las pruebas QDA de las 3 muestras de licor de cacao



Rottiers et al. (2019) analizó las diferencias sensoriales entre las variedades CCN-51 y 4 variedades de cacao Fino de Aroma ecuatoriano. El estudio señaló que existe una clara

diferencia entre las variedades ya que el licor CCN-51 era percibido con más amargor y astringencia y con pocos rasgos de atributos frutales, mientras que los Finos de Aromas tenían una alta presencia de sabores frutales y florales. También se resaltaba que los licores Finos de Aromas presentaban mayor acidez que el CCN-51; pero la acidez de los Finos de Aroma se asociaba a una acidez cítrica agradable, mientras que la del CCN-51 a una acidez acética no tan favorable. Todo esto concuerda con lo descrito anteriormente sobre que la muestra del CCN-51 posee rasgos sensoriales muy inferiores a los del Fino de Aroma, especialmente al Licor L que fue el que tuvo el mejor perfil sensorial de todas las muestras. Se ha asociado a que uno de los principales problemas del CCN-51 es que a pesar de que su contenido polifenólico es parecido al del Fino de Aroma, este no logra desarrollar otros compuestos volátiles frutales, terpenos florales/cítricos, acetato de isoamilo, 2-heptanol y otros compuestos volátiles del chocolate que sí poseen los Finos de Aroma que le permiten contrarrestar el alto amargor y astringencia que le pueden brindar los polifenoles; inclusive, en el CCN-51 se ha detectado presencia de alcaloides (teobromina y cafeína) y dicetopiperazinas que en compañía de los polifenoles resaltan ese amargor y astringencia y hacen imperceptibles otros atributos importantes del licor (Rottiers *et al.*, 2019).

3.4. Diseño de la línea de producción

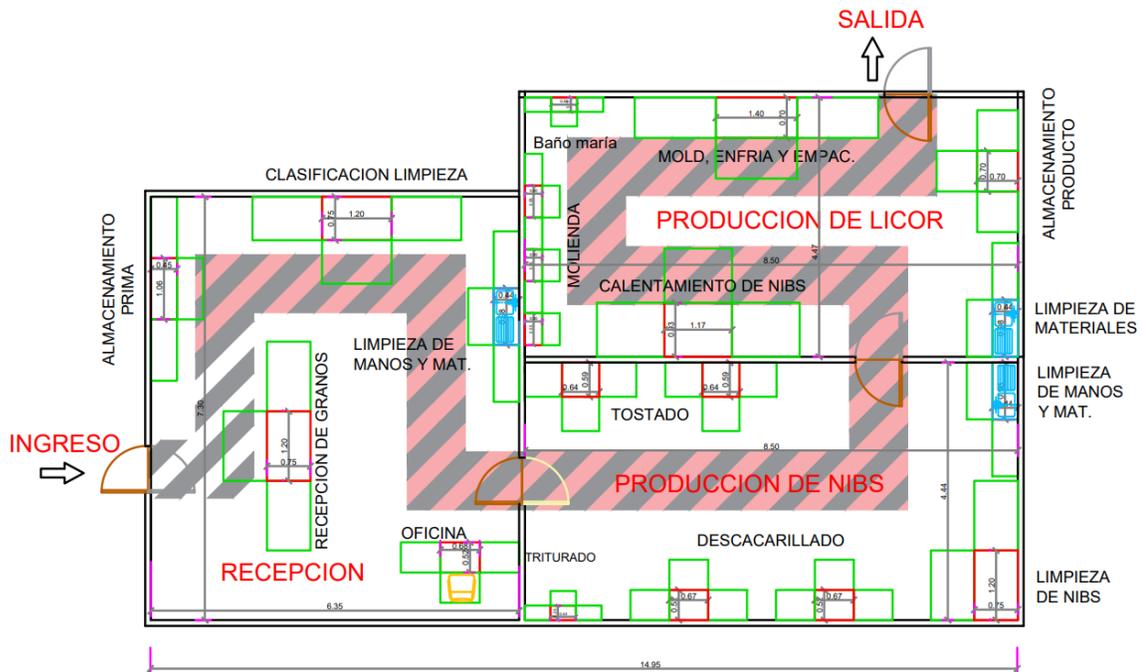
Se diseñó el plano arquitectónico para la elaboración de una línea de producción de licor de cacao a escala laboratorio como se evidencia en la figura 4, teniendo en cuenta la división del proceso del licor en tres áreas productivas, las cuales son recepción con un área de $46.36m^2$ compuesta por recepción, almacenamiento de materia prima, clasificación y limpieza de granos, limpieza de manos y materiales, y oficina; área de producción de nibs con $37.74m^2$ compuesta por el tostado, triturado, descascarillado, limpieza de nibs y limpieza de manos y

materiales; y el área de producción de licor con $38.00m^2$ compuesta por el calentamiento de nibs, molienda, moldeado, enfriamiento, empackado, almacenamiento del producto final y limpieza de manos y materiales, dando como resultado un área total de $122.09m^2$.

En la tabla de necesidades de espacio como se muestra en el Apéndice M, junto con el programa de CORELAP se determinó que el área total es $42.59m^2$, considerando solo el área estática, gravitacional y evolución de los equipos, sin embargo, la diferencia de áreas totales se debe a que en la figura 3, se consideró otros elementos como la distribución de los equipos, acordes a la tabla relacional de actividades y el flujo del personal y materiales en las áreas para la elaboración de licor de cacao, con el fin de evitar la contaminación cruzada entre áreas y prevenir un posible accidente.

Figura 4

Layout de la distribución de la línea de producción de licor de cacao a escala laboratorio.



3.5. Costo para la implementación de la línea de producción a escala laboratorio

En el laboratorio de licor de cacao se consideró los gastos de inversión, costos fijos, costos variables y la depreciación de los equipos y maquinarias, para una línea de producción con una capacidad de 12kg diarios de licor cacao, teniendo como demanda seis unidades diarias de 2kg de licor como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8

Demanda y días laborables de producción.

Demanda	
Días laborables al año	252
Unidades diarias promedio de 2kg	6
Unidades mensuales promedio	126
DEMANDA ACTUAL	1,512

Tabla 9

Lista de inversión de equipos y materiales para la línea de producción de licor de cacao.

Gastos activos de inversión			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tostador	2	\$ 1,994.70	\$3,989.40
Triturador	1	\$ 1,950.00	\$1,950.00
Descascarillador	2	\$ 1,950.00	\$3,900.00
Estufa de calentamiento	1	\$ 4,376.19	\$4,376.19
Molino	3	\$ 1,700.00	\$5,100.00
Baño María	1	\$ 297.53	\$297.53
Refrigeradora	1	\$ 475.00	\$475.00
Balanza industrial	1	\$ 281.75	\$281.75
Balanza	2	\$ 120.00	\$240.00
	122.09	\$ 350.00	
Instalación	m2		\$42,731.50
Recipientes	10	\$ 5.00	\$50.00
Implementos de cocina varios	30	\$ 2.67	
			\$80.10

Aire Acondicionado	1	\$ 285.00	\$285.00
Computadora	1	\$ 400.00	\$400.00
Estantería metálica	1	\$ 100.00	\$100.00
Mesa de trabajo acero inoxidable	4	\$ 195.00	\$780.00
Mesa	1	\$ 70.00	\$70.00
Silla	1	\$ 45.00	\$45.00
Lavadero	3	\$ 200.00	\$600.00
TOTAL DE GASTOS FIJOS DE INVERSIÓN			\$65,751.47
COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL			\$16,437.87

Tabla 10

Depreciación de los materiales y equipos considerados en la línea de producción de licor de cacao.

Depreciación			
Depreciaciones Anuales	Vida Útil	Total	Depreciación
Maquinarias y equipos auxiliares	10	\$ 20,609.87	\$ 2,060.99
Equipos de oficina	10	\$ 1,910.10	\$ 191.01
Equipo de computación	3	\$ 500.00	\$ 166.67
Total		\$ 23,019.97	\$ 2,418.66

Tabla 11

Costos variables de la materia prima y material de empaque requeridos en una unidad.

Costos variables: Materia prima y material empaçado			
Descripción	Cantidad por unidad	Precio unitario	Precio total
Granos de cacao seco (kg)	2.62	\$ 7.76	\$ 20.33
Empaques	1	\$ 0.08	\$ 0.08
TOTAL COSTOS VARIABLES			\$ 20.41

Tabla 12*Costos variables anuales de materiales indirectos necesarios para la producción.*

Costos variables: Materiales indirectos			
Materiales	Cantidad (anual)	Precio (\$)	Total
Mallas	504	\$ 0.10	\$ 50.40
Guantes	504	\$ 0.10	\$ 50.40
Fundas de Basura	2,000	\$ 0.02	\$ 40.00
Cajas de cartón	50	\$ 0.12	\$ 6.00
Agentes de Limpieza	12	\$ 6.20	\$ 74.40
Manteca de cacao	2	\$ 26.88	\$ 53.76
Total anual			\$ 274.96

Tabla 13*Costos fijos mensuales: personal y servicios básicos necesarios en la producción.*

Resumen de costos fijos			
Descripción	Cantidad	Precio mensual	Precio total
Personal	2	\$ 460.00	\$ 920.00
Gasto de oficina	1	\$ 4.17	\$ 4.17
Agua	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Luz	1	\$ 180.00	\$ 180.00
Internet	1	\$ 20.00	\$ 20.00
TOTAL COSTOS FIJOS MENSUALES			\$ 1,134.17

Tabla 14*Resumen de gastos de producción y precio del licor de cacao.*

Resumen	
Materia prima	\$20.33
Mantenimiento de equipos (Indirectos)	\$10.87
Costo de empaque	\$0.08
Costo total de fabricación	\$31.28
Costo fijo mensual	\$1,134.17
Costo de materiales indirectos	\$22.91
Unidades mensuales fabricadas	\$126.00
Costo fijo por unidad	\$9.18

Costo de producir 1 unidad	\$40.47
Utilidad 56%	\$22.66
PRECIO DE VENTA	\$63.13

Tabla 15

Análisis financiero: flujo de caja, TIR y VAN de la línea de producción de licor de cacao.

Año	Flujo de caja					
	0	1	2	3	4	5
Inversión Inicial	65751.47	-	-	-	-	-
Ingresos		95447.92	99304.01	103315.89	107489.86	111832.45
Total de ingresos		95447.92	99304.01	103315.89	107489.86	111832.45
Costos fijos		13610.00	14276.00	14395.70	15100.99	15232.95
Costos variables		47299.60	47916.84	48546.42	49188.59	49843.60
Depreciación		2418.66	2418.66	2418.66	2418.66	2418.66
Total de egresos		129079.74	98243.32	64300.09	27692.43	67495.22
Flujo neto de caja	-65751.47	-33631.82	1060.69	39015.81	79797.43	44337.23
TIR	15%					
VAN	15896.56					

En la implementación de la línea de licor de cacao a escala laboratorio, se determinó que la inversión necesaria es de \$65,751.47, con un costo de mantenimiento anual de \$16,437.87, según se detalla en la tabla 9, y una depreciación de los equipos de \$2,418.66, como se muestra en la tabla 10. Además, el costo de producción de cada unidad de licor de cacao de 2kg es de \$40.47, considerando los costos variables indicados en las tablas 11 y 12, y los costos fijos de la tabla 13. Por lo tanto, el precio de venta de cada unidad se ha fijado en \$63.13, lo que representa una utilidad del 56%, como se detalla en la tabla 14.

Según la empresa La Hacienda, ofrece licor de cacao a \$20 por kilogramo, aunque puede contener trazas de azúcar, leche y lecitina non-GMO. Por su parte, Kallari vende su licor de

cacao a \$3.70 por cada 180 g, lo que equivale a unos \$40 por 2 kg aproximadamente, siendo un precio significativamente más bajo que el de nuestro producto. Sin embargo, nuestro licor de cacao se destaca por ser 100% cacao, sin aditivos, y de una calidad superior. Además, está elaborado exclusivamente con las variedades de cacao que requiere el cliente, lo que lo hace ideal para estudios y análisis especializados.

El flujo de caja presentado en la tabla 15 indica que la inversión en la línea de producción de licor de cacao se recupera en el segundo año, comenzando a generar ganancias a partir de entonces. No obstante, el porcentaje de TIR proyectado a 5 años es bajo de 15%, lo que sugiere que el proyecto no es económicamente rentable desde una perspectiva comercial, ya que es considerado rentable cuando supera el 20-30%, a pesar de obtener un VAN positivo. Es importante destacar que el proyecto está principalmente orientado al estudio y análisis del licor de cacao y las propiedades de las variedades de cacao, siendo su principal beneficio para investigadores y estudiantes de la ESPOL. Por tanto, aunque la rentabilidad comercial sea limitada, el proyecto es rentable a nivel académico, ya que recuperaría la inversión y generaría ganancias adicionales.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Existen diferencias significativas en las propiedades físicas y fisicoquímicas entre las variedades de grano y licor de cacao, con excepción del porcentaje de grasa del licor de cacao. Existen propiedades como el pH y humedad donde la diferencia es mínima, pero existen otras como la acidez y contenido de polifenoles donde existe una clara inclinación hacia alguna de las variedades. Por lo tanto, el tipo de grano puede afectar en las características fisicoquímicas para la elaboración de licor de cacao, asimismo, su calidad. Sin embargo, también existen otros factores que pueden influenciar negativamente al licor de cacao en caso de no ser realizados adecuadamente como el proceso de fermentación el cual afectó negativamente al grano Fino de Aroma de Esmeraldas.

Existen diferencias significativas en los atributos sensoriales de los licores de cacao. Indicando así que el perfil sensorial del cacao CCN-51 es inferior al del cacao Fino de Aroma, principalmente al cacao de Los Ríos el cual presentó el mejor perfil sensorial. El grano CCN-51 tiene mucho más marcado los atributos de amargor y astringencia y pocas características típicas del Fino de Aroma como los atributos frutales y florales. Además, presenta una calidad global inferior, mayor presencia de sabores atípicos y una acidez asociada al ácido acético.

El diseño de la línea de producción de licor de cacao a escala laboratorio tuvo un área total de $122.09m^2$, teniendo en cuenta la división de tres áreas principales que son la recepción, producción de nibs y producción de licor de cacao. Por otro lado, la implementación de la línea de licor de cacao a escala laboratorio presenta una inversión inicial significativa de \$65,751.47 con una recuperación de la inversión en el segundo año y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de solo 15% a 5 años. Por consiguiente, el laboratorio no es altamente rentable desde una

perspectiva comercial. Sin embargo, ofrece un valor significativo en términos académicos, ya que a pesar de que la rentabilidad comercial es limitada, la contribución al ámbito académico y a la investigación especializada hace que el proyecto sea justificable y beneficioso a nivel institucional.

4.2.Recomendaciones

Se sugiere la realización de la caracterización genética entre las variedades de granos y licor de cacao, lo cual permitirá una mejor identificación y comparación entre las muestras en un posterior estudio, asimismo, la realización de la determinación de cenizas, porcentaje de grasa en granos para un análisis proximal entre las variedades, permitiendo un análisis global de todas las propiedades fisicoquímicas del grano y licor, relacionados con la genética.

Se propone el análisis de contenido de polifenoles en granos para analizar posteriormente como el proceso de elaboración de licor puede afectar en el contenido de polifenoles en los granos, además permitirá una comparación más profunda entre las variedades de granos. Además, analizar otros compuestos como los volátiles frutales/florales y otros compuestos asociados al chocolate conocidos por enmascarar el amargor y astringencia del licor para comprender su relación con el perfil sensorial de las distintas variedades.

Para la determinación de proteínas, es recomendable desgrasar una mayor cantidad de muestras para compensar la posible pérdida de material en el papel filtro. Alternativamente, se pueden utilizar dedos para minimizar la pérdida de muestra y asegurar que los resultados no se vean afectados.

Se recomienda que las variedades de granos de cacao se trabajen bajo las mismas condiciones de, fermentación, secado y cosecha, evitando cualquier variación climática o de

proceso, esto aseguraría una comparación más precisa de las características sensoriales y fisicoquímicas entre las variedades.

Referencias

- Abad, A., Acuña, C. & Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión*, 7, 59-83.
- Adomako, D. (2020) *Knowing your cocoa and its quality parameters: The pH Factor*.
https://thecocoapost.com/knowning-your-cocoa-and-its-quality-parametres-the-ph-factor/#google_vignette.
- Aguilar, H. (2016). *Manual para la Evaluación de la Calidad del Grano de Cacao*. La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
- Álvarez, C., Liconte, N., Pérez, E., Lares, M. & Perozo, J. (2022). Revisión sobre los atributos físicos, químicos y sensoriales como indicadores de la calidad comercial del cacao. *Petroglifos Revista Crítica Transdisciplinar*, 5(1).
- Alviárez, E., Caetano, A., Ramirez, Y., Granda, M. & Leiva, S. (2022). Physicochemical and organoleptic profile of the native fine aroma cocoa from northeastern area of Peru. *Food Sci. Technol, Campinas*, 42, 1-7.
- Andrade, J., Rivera, J., Chire, G. & Ureña, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao L.* de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001
- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao). (2017). *Agricultor ecuatoriano logra Denominación de Origen Cacao-Ariba*.Ecuador.

<http://www.anecacao.com/index.php/es/noticias/agricultor-ecuatoriano-logro-denominacion-de-origen-cacao-arriba.html> (consulta de junio 4, 2024).

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1970). AOAC Official Method 970.20 Cacao Products. *Journal Association of Official Analytical Chemists*, 53, 388.

Asociación de Oficiales Analíticos Químicos (AOAC). (1970). Método 970.20, productos de cacao: preparación de muestra de laboratorio. En *Official Methods of Analysis of AOAC International* (14^a ed.). AOAC International.

Asociación de Oficiales Analíticos Químicos (AOAC). (2019). *Método 923.03: Determinación de cenizas en alimentos*. En *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21^a ed.). AOAC International.

Asociación de Oficiales Analíticos Químicos (AOAC). (2019). *Método 931.04: Determinación de humedad en alimentos*. En *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21^a ed.). AOAC International.

Asociación de Oficiales Analíticos Químicos (AOAC). (2019). *Método 942.15: Determinación de grasa en productos lácteos*. En *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21^a ed.). AOAC International.

Asociación de Oficiales Analíticos Químicos (AOAC). (2016). *Método 963.15: Determinación de grasa en alimentos*. En *Official Methods of Analysis of AOAC International* (20^a ed., pp. 123-126). AOAC International.

- Asociación de Oficiales Analíticos Químicos (AOAC). (2019). *Método 970.22: Determinación de proteínas*. En *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21^a ed., pp. 150-155). AOAC International.
- Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E. & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of The Total Environment*, 649, 120-127.
- Armijos, A. (2002). *Características de la acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (Theobroma cacao L.) fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación* [Tesis de grado de la Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1403>.
- Benítez, A. (2018). La denominación de origen Cacao Arriba. http://www.fao.org/fileadmin/templates/olq/documents/Ecuador/ppp2/1-DO_Cacao_Arriba (consulta de junio 4, 2024).
- Bravo, K. (2020). “Efecto de la Micro Fermentación de Cacao (*Theobroma cacao L.*), Variedad Nacional y CCN-51, en Cajas de Maderas no Convencionales sobre la Calidad Física y Sensorial del Licor de Cacao” [Tesis de grado de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0d125083-5f6a-4393-b794-c264248b4108/content#:~:text=Referente%20a%20los%20an%C3%A1lisis%20f%C3%ADsicos,en%20el%20licor%20de%20cacao>.
- Brown, A., Warren, E., Ingraham, B., Ziegler, G. & Hopfer, H. The effect of fat content on sensory perception and consumer acceptability of 70% cacao dark chocolate made from

reconstituted cocoa liquor. *Journal of Sensory Studies*, 38(5), e12864.

<https://doi.org/10.1111/joss.12864>.

Cáceres, P. J., Martínez, C., Amigo, L., & Frias, J. (2014). Maximising the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chemistry*, 152, 407-414.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.156>

Cedeño, E. & Dilas, J. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Revista Científica y Tecnológica QANTU YACHAY*, 2(1), 8-15.

https://www.researchgate.net/publication/360208143_Produccion_y_exportacion_del_cacao_ecuatoriano_y_el_potencial_del_cacao_fino_de_aroma_Production_and_export_of_Ecuadorian_cocoa_and_the_potential_of_fine_aroma_cocoa

Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. (2023). *La cadena del cacao, un ejemplo de dinamismo frente a la pandemia*. [https://www.rimisp.org/wp-](https://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2023/04/Policy-brief-cacao_Ecuador-.pdf)

[content/uploads/2023/04/Policy-brief-cacao_Ecuador-.pdf](https://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2023/04/Policy-brief-cacao_Ecuador-.pdf)

De La Cruz-Medina, J., Vargas-Ortiz, M., & Del Ángel-Coronel, O. (2012). *Cacao: operaciones poscosecha*. Food and Agriculture Organization Of the United Nations (FAO).

<http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>

Díaz-Montenegro, J., Varela, E. & Gil, J. (2018). Livelihood strategies of cacao producers in Ecuador: Effects of national policies to support cacao farmers and specialty cacao landraces. *Journal of Rural Studies*, 63, 141-156.

Erazo, C., Bravo, K., Tuárez, D., Fernández, A., Torres, Y. & Vera, J. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao L.*), Variedad Nacional y Trinitario, en cajas de

- maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42-55.
- Garay, I., Villaruel, M., Díaz, A., Chávez, R. & Herrera, J. (2024). Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao en Úrsulo Galván, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 35, 54337.
- García, A., Pico, B. & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia*, 4(2), 152-172. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-26542021000200152
- García-Jerez, Alberto, Quintana-Fuentes, Lucas Fernando, & Moreno-Martínez, Edith. (2022). Determinación del índice de grano y del porcentaje cascarilla de los genotipos de cacao regionales FSV41, FEAR5 y FLE2 y genotipo universal CCN 51. *Ingeniería y competitividad*, 24(2), e21411420.
- García, E., Serna A., Córdoba D., Marín J., Montalvo C., Ordoñez G. (2019). Estudio de la fermentación espontánea de cacao (*Theobroma Cacao* L.) y evaluación de la calidad de los granos en una unidad productiva a pequeña escala. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1), 41-51
- González, L., Moreira, W. & Dueñas, A. (2022). La cadena de comercialización del cacao fino de aroma, cantón Pichincha, Ecuador. *ECA Sinergia*, 13(3), 86-95.
<https://www.redalyc.org/journal/5885/588572826008/html/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2003). NTC 1252: Cacao en grano. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2021). Norma INEN 176: Granos de cacao. Requisitos. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 535: Productos de cacao y chocolate. Requisitos*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2019). *NTE INEN-ISO 2291: Productos de cacao y chocolate. Requisitos de calidad*. Quito, Ecuador: INEN.
- Lares, M., Pérez, E., Álvarez, C., Perozo, J. & El, S. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Tropical*, 63(1-2), 37-47.
- Lestari, U., Kumalasanti, R & Wulandari, E. (2019). Identifying the Quality System of Cocoa Beans to Increase Productivity Using Backpropagation Neural Network Algorithm: A Case Study at Sumber Rejeki Farmers Group Patuk Gunung Kidul. *Journal of Physics: Conference Series*, 1413. doi:10.1088/1742-6596/1413/1/012033.
- León F., Calderón, J., Mayorga, E. & Quinteros, E. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador / Strategies for cultivation, marketing and export of aroma fine cocoa in Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9, 45-49.
- Loureiro, G., Araujo, Q., Valle, R., Sodré, G., & Souza, S. (2017). 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 recursos agropecuarios*, 4(12), 579-587.

- Macías J., Cuenca, G., Intriago, F., Menjivar, J. & Pacheco, H. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72, 8707-8716.
- Mera, M. (2023). *Estudio de la influencia de la molienda (conchado) en la reducción de la acidez del chocolate de cobertura* [Tesis de grado de la Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37904/1/CAL%20033.pdf>
- Mora, C., Quevedo, J., Zhiminaicela, J., Herrera, S., Morocho, A. & León, J. (2021). Influencia de la Madurez de las Mazorcas de cacao: Calidad Nutricional y Sensorial del cultivar CCN-51. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 27-40.
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2706/3796>
- Morales, W., Vallejo, C., Sinche, P., Torres, Y., Vera, J. & Anzules, E. (2016). Mejoramiento de las características físico-químicas y sensoriales del cacao CCN51 a través de la adición de una enzima y levadura durante el proceso de fermentación. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(2), 169-181.
- Moreno, E., Gavanzo, O. & Rangel, F. (2019). Evaluación de las características físicas y sensoriales de licor de cacao asociados a modelos de siembra. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 75-90. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890>
- Moreno, C., Paredes, M., Escobar, J. & Molina, J. (2021). Evaluación de la sostenibilidad socio-económica en fincas productoras de cacao en el centro-norte de Ecuador: una propuesta de estrategias inter-organizacionales. *Acta Agronómica*, 70(2), 171-179.
<https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661>

- Motamayor, J., Lachenaud, P., Da Silva, J., Loor, R., Kuhn, D y Brown, J. (2008). Geografía y genética diferencial de la población del árbol de chocolate (*Theobroma cacao L.*) Amazonico. *PLOS ONE*, 3(10), e3311.
- Nazario, O., Ordoñez, E., Mandujano, Y. & Arévalo, J. (2014). Polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante de granos secos y análisis sensorial del licor de cacao (*Theobroma cacao L.*) criollo y siete clones. *Investigación y Amazonía*, 3(1): 51-59.
- Neira, J. (2021). “*Caracterización del licor de dos variedades de cacao CCN-51 y nacional (Theobroma cacao L.), considerando manejo poscosecha y las zonas de influencia de la Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Santo Domingo*” [Tesis de grado de la Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Santo Domingo].
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/25907/1/T-ESPESD-003149.pdf>
- Organización Internacional de Normalización. (2017). *ISO 2451: Productos de cacao y chocolate. Requisitos y métodos de ensayo*. Ginebra, Suiza: ISO.
- Orozco, M. (26 de marzo de 2024). Nuevo boom para Ecuador: Precio de cacao rompe récord y ya roza los USD 10.000 por tonelada. *Primicias*.
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/alza-precios-cacao-record-mercado-boom/>
- Ortiz, L., Graziani, L. & Gervaise, R. (2009). Evaluación de varios factores sobre características químicas del grano de cacao en fermentación. *Agronomía Tropical*, 59(1), 73-79.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000100007
- Pino, S., Aguilar, H. & Sisalema., L. (2018). The Denomination of origin for cocoa arriba. In search of the Holy Grail. *Espacio*, 39, 1-15.

- Quevedo, J., Ramírez, M., Portillo, E., García, R. & Tuz, I. (2022). Diversidad fisicoquímica y sensorial de 60 árboles elite de *Theobroma cacao* l., del sur del Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 14(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000100543
- Quevedo, M., Romero, I. & Tuz, I. (2018). Calidad físico química y sensorial de granos y licor de cacao (*Theobroma Cacao L.*) usando cinco métodos de fermentación. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 115–127.
- Ramos, A., Gómez, M., Machado-Sierra, E. (2020). Caracterización fenotípica y genotípica de cultivares de cacao (*Theobroma cacao L.*) de Dibulla, La Guajira, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-17.
- Razola, M del C., Aznar, M. J., Verardo, V., Melgar, S., Castilla, E. & Rodríguez, C. (2023). Exploring the Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Different Cocoa Powders. *Antioxidants*, 12 (3), 1-16. <https://doi.org/10.3390/antiox12030716>
- Rodríguez-Silva, Lucero Gertrudis, Quintana-Fuentes, Lucas Fernando, Coronado-Silva, Roberto Antonio, García-Jerez, Alberto, Báez-Daza, Eliana Yadira, & Agudelo-Castañeda, Genaro Andrés. (2023). Caracterización física y sensorial de 24 genotipos especiales de cacao *Theobroma cacao*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 26(1), e2410.
- Rottiers, H., Tzompa Sosa, D.A., Lemarcq, V., De Winne, A., De Wever, J., Everaert, H., Bonilla, J., Dewettinck, K. & Messens, K. (2019). A multipronged flavor comparison of Ecuadorian CCN51 and Nacional cocoa cultivars. *Eur Food Res Technol*, 245, 2459–2478.
- Ruiz X., Pinzon, M., Morillo, Y., Morillo, A., Caicedo, A. & Gonzalez, Alonso. (2015). Comparación genética de tres fuentes del cacao *theobroma cacao l.*, mediante el uso de

- marcadores microsatelites. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 10-18.
- Samaniego, I., Espín, S., Quiroz, J., Rosales, C., Carrillo, W., Mena, P & García, C. (2021). *Effect of the growing area on the fat content and the fatty acid composition of Ecuadorian cocoa beans*.
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/263010/1/Samaniego2021IJFoodSciNutr.pdf>
- Stagnati, L., Soffritti, G., Martino, M., Bortolini, C., Lanubile, A., Busconi, M., Marocco, A. (2020). Cocoa beans and liquor fingerprinting: A real case involving SSR profiling of CCN51 and “Nacional” varieties. *Food Control*, 118, 107-392.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095671352030308X>
- Torino, M., Limón, R., Martínez, C., Mäkinen, S., Pihlanto, A., Vidal, C., & Frias, J. (2013). Antioxidant and antihypertensive properties of liquid and solid state fermented lentils. *Food Chemistry*, 136(2), 1030–1037. doi:10.1016/j.foodchem.2012.09.01
- Vera, J., Vallejo, C., Párraga, D., Morales, W., Macías, J. & Ramos. (2014). Atributos físico-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21-34.
https://www.researchgate.net/publication/321297522_ATRIBUTOS_FISICOS-QUIMICOS_Y_SENSORIALES_DE_LAS_ALMENDRAS_DE_QUINCE_CLONES_DE_CACAO_NACIONAL_Theobroma_cacao_L_EN_EL_ECUADOR
- Vera, J., Radice, M., Vásquez, L. & Intriago, F. (2024). Perfil químico de 12 Clones Tipo Nacional de pasta de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Universidad y Sociedad*, 16(1), 126-136.

Apéndice

Apéndice A

Formato de prueba descriptiva QDA

Cacao de Excelencia

Formato para Evaluación Sensorial de Licor de Cacao y Chocolate

Evaluador _____ Fecha _____
 ID de muestra _____ Hora _____
 Info de muestra _____

Licor Chocolate

Instrucciones: Inserte los valores de intensidad de cada atributo en los y marque con un los sub atributos percibidos

Escala de intensidad
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 <--- menos intenso más intenso --->

- Cacao
- Acidez
 - Frutal Acética Láctica
 - Mineral / Butírica
- Amargor
- Astringencia
- Fruta Fresca
 - Bayas Cítricos Oscura
 - Pulpa amarilla / Anaranjada / Blanca
 - Tropical
- Fruta Marrón
 - Seca Marrón Excesivamente madura
- Floral
 - Pasto / Vegetal verde / Hierba
 - Terroso / Hongo / Musgo / Bosque
 - Flor de azahar Flores
- Madera
 - Clara Oscura Resina
- Especiado
 - Especias Tabaco
 - Sazonado / Umami
- Nuez
 - Parte interna nuez Piel de la nuez
- Caramelo / Panela
- Dulzor (solo para chocolate)
- Grado de Tostado

- Sabores Atípicos / Defectos
 - Sucio / Empolvado Humedad
 - Mohoso Carnoso / Animal / Cuero
 - Sobre-fermentado / Fruta podrida
 - Pútrido / Estérrico Humo
 - Otros sabores atípicos

Descripción _____

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Calidad global

Comentarios sobre el sabor

Gráfico de Sabor

El Formulario de evaluación sensorial Cacao de Excelencia está bajo la licencia Creative Commons Attribution - No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

Apéndice B

Análisis estadístico del tamaño de grano

Figura 5

Prueba de normalidad del tamaño de grano

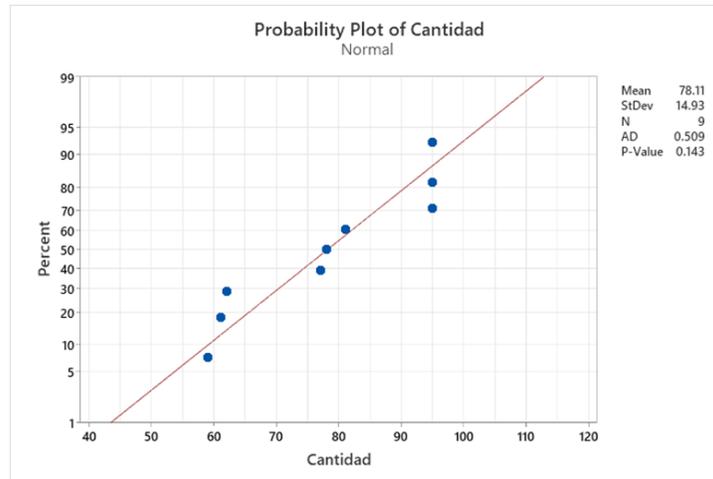


Tabla 16

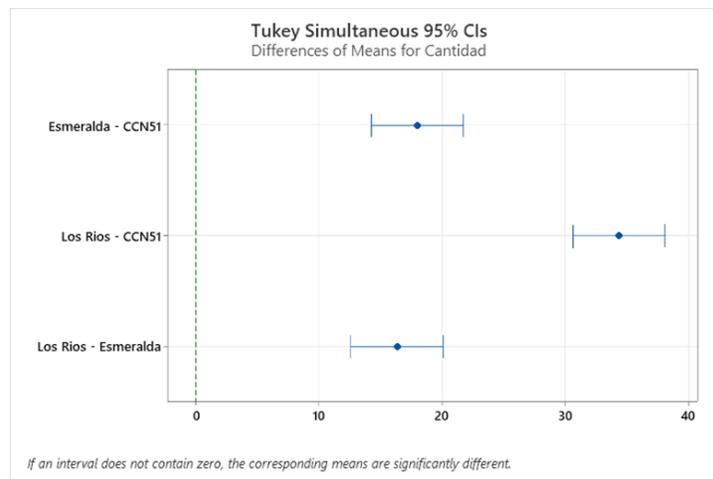
Prueba ANOVA del tamaño de grano

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tipo de grano	2	1769.56	884.778	398.15	0.000
Error	6	13.33	2.222		
Total	8	1782.89			

Figura 6

Prueba de tukey del tamaño de grano



Apéndice C

Análisis estadístico del pH de los granos

Figura 7

Prueba de normalidad del pH de los granos

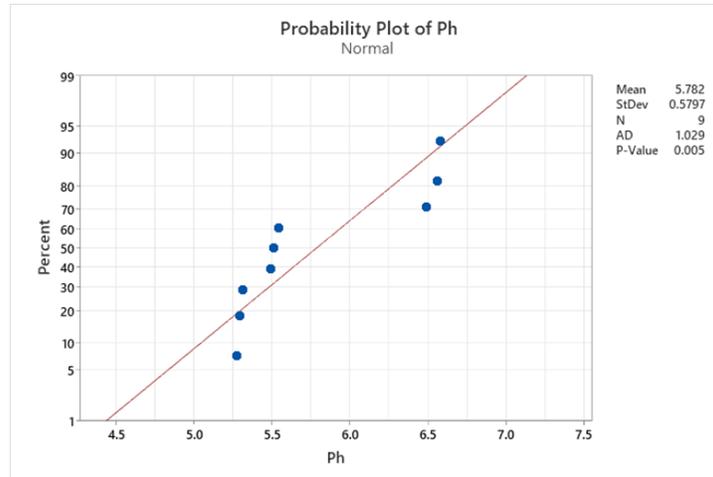


Tabla 17

Prueba Kruskal-Wallis del pH de los granos

Estadísticas descriptivas

Tipo de grano	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN51	3	5.29	2.0	-2.32
Esmeralda	3	6.56	8.0	2.32
Los Rios	3	5.51	5.0	0.00
General	9		5.0	

Prueba

GL	Valor H	Valor p
2	7.20	0.027

Apéndice D

Análisis estadístico del pH de los licores

Figura 8

Prueba de normalidad del pH de los licores

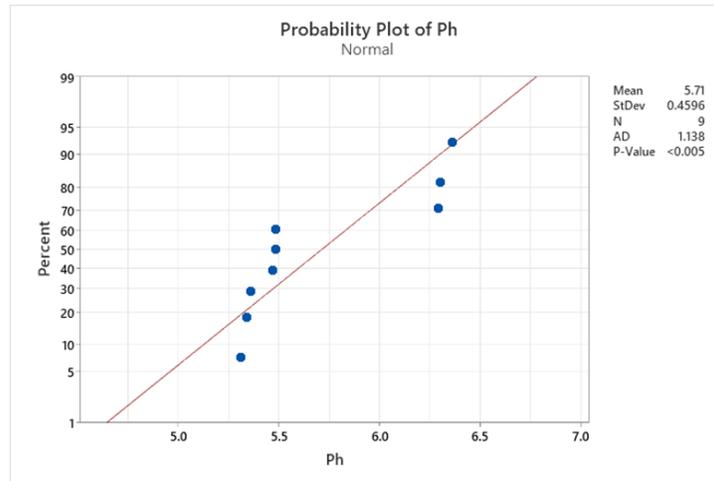


Tabla 18

Prueba Kruskal-Wallis del pH de los licores

Estadísticas descriptivas

Tipo de licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN51	3	5.34	2.0	-2.32
Esmeralda	3	6.30	8.0	2.32
Los Rios	3	5.48	5.0	0.00
General	9		5.0	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	7.20	0.027
Ajustado para empates	2	7.26	0.027

Apéndice E

Análisis estadístico de la acidez de los granos

Figura 9

Prueba de normalidad de la acidez de los granos

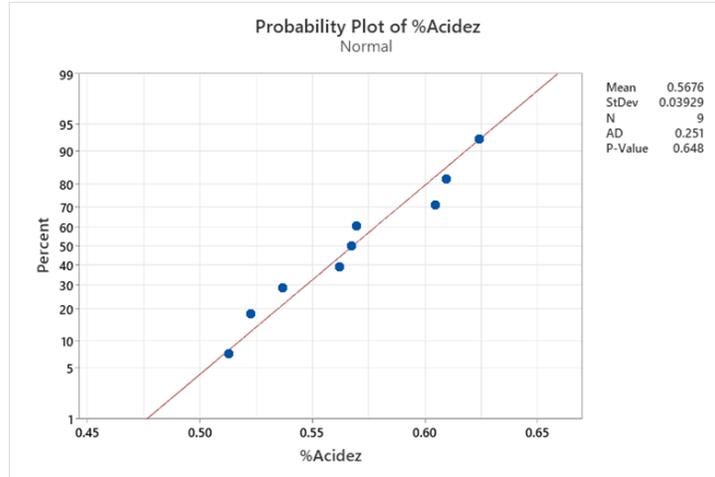


Tabla 19

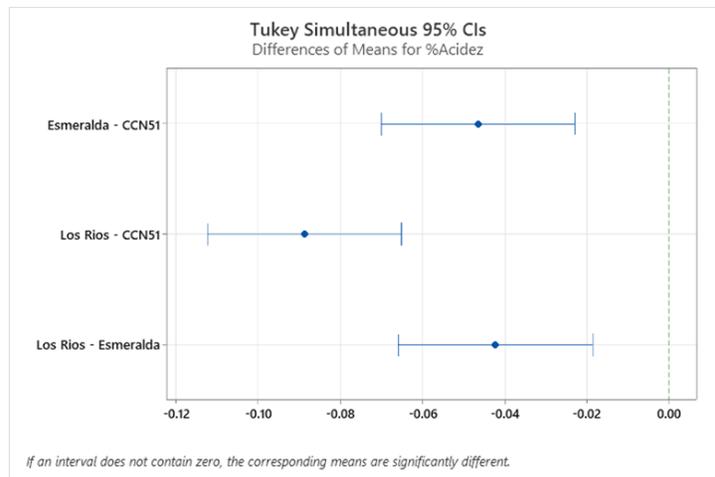
Prueba ANOVA de la acidez de los granos

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tipo de granos	2	0.01181	0.00590	66.83	0.000
Error	6	0.00053	0.00008		
Total	8	0.01234			

Figura 10

Prueba Tukey de la acidez de los granos



Apéndice F

Análisis estadístico de la acidez de los licores

Figura 11

Prueba de normalidad de la acidez de los licores

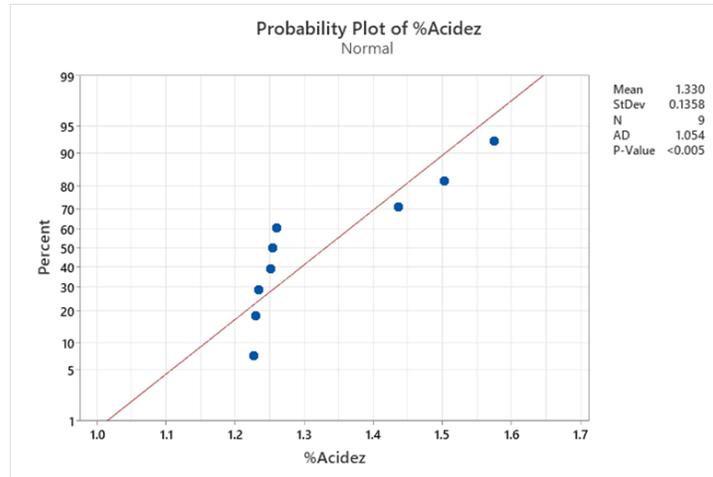


Tabla 20

Prueba Kruskal-Wallis de la acidez de los licores

Estadísticas descriptivas

Tipo de licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN51	3	1.25454	5.0	0.00
Esmeralda	3	1.22936	2.0	-2.32
Los Rios	3	1.50188	8.0	2.32
General	9		5.0	

Prueba

GL	Valor H	Valor p
2	7.20	0.027

Apéndice G

Análisis estadístico de la humedad de los granos

Figura 12

Prueba de normalidad de la humedad de los granos

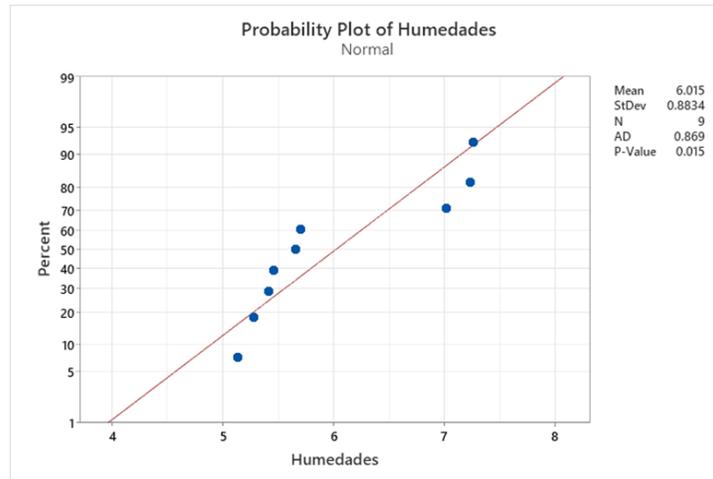


Tabla 21

Prueba Kruskal-Wallis de la humedad de los granos

Estadísticas descriptivas

Tipo de grano	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN51	3	5.28053	2.3	-2.07
Esmeralda	3	7.22915	8.0	2.32
Los Rios	3	5.65842	4.7	-0.26
General	9		5.0	

Prueba

GL	Valor H	Valor p
2	6.49	0.039

Apéndice H

Análisis estadístico de la humedad de los licores

Figura 13

Prueba de normalidad de la humedad de los licores

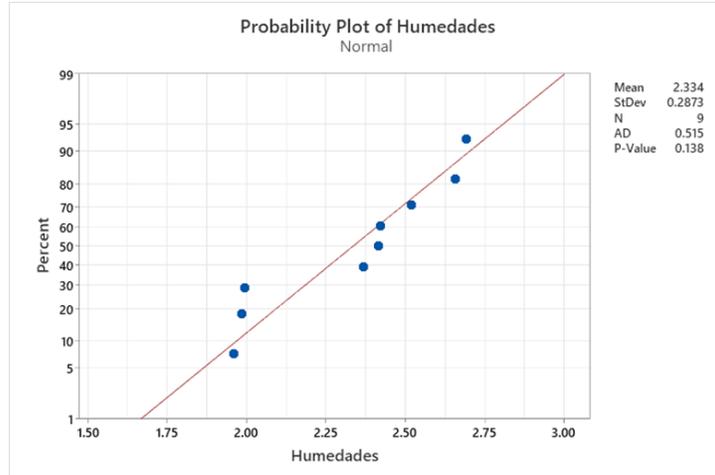


Tabla 22

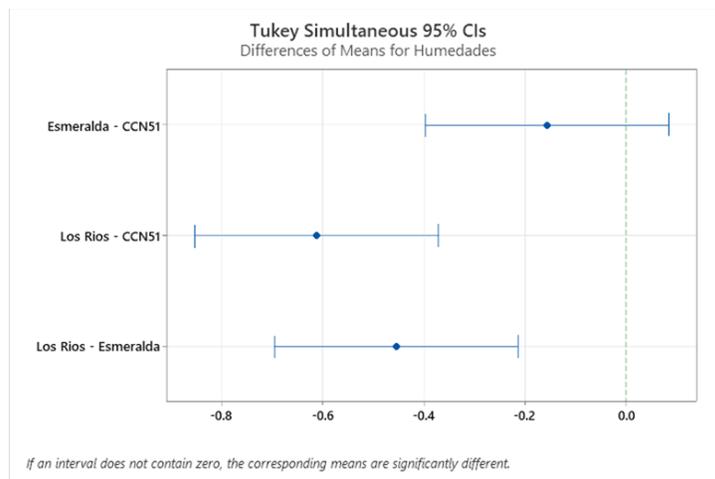
Prueba ANOVA de la humedad de los licores

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tipo de licor	2	0.60502	0.302512	32.82	0.001
Error	6	0.05531	0.009219		
Total	8	0.66034			

Figura 15

Prueba Tukey de la humedad de los licores



Apéndice I

Análisis estadístico de la grasa de los licores

Figura 16

Prueba de normalidad de las grasas de los licores

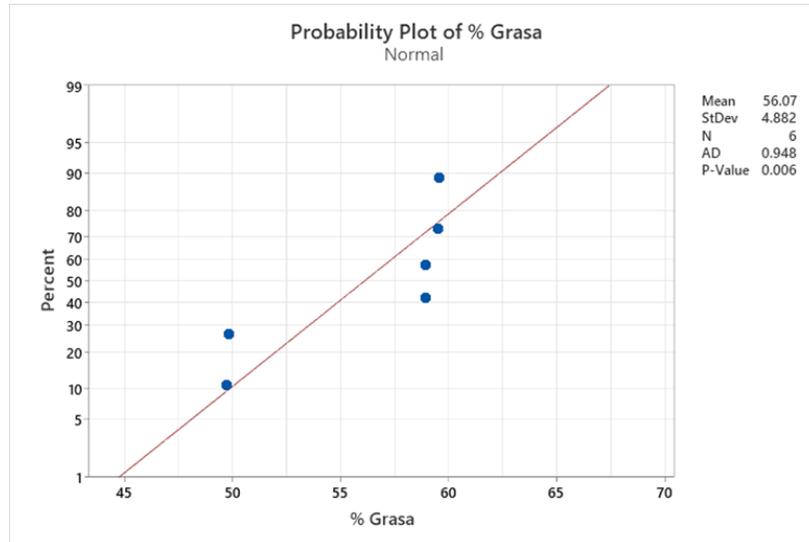


Tabla 23

Prueba Kruskal-Wallis de las grasas de los granos

Estadísticas descriptivas

Tipo de licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN51	2	49.7797	1.5	-1.85
Esmeralda	2	58.9168	3.5	0.00
Los Rios	2	59.5216	5.5	1.85
General	6		3.5	

Prueba

GL	Valor H	Valor p
2	4.57	0.102

Apéndice J

Análisis estadístico de las proteínas de los licores

Figura 17

Prueba de normalidad de las proteínas de los licores

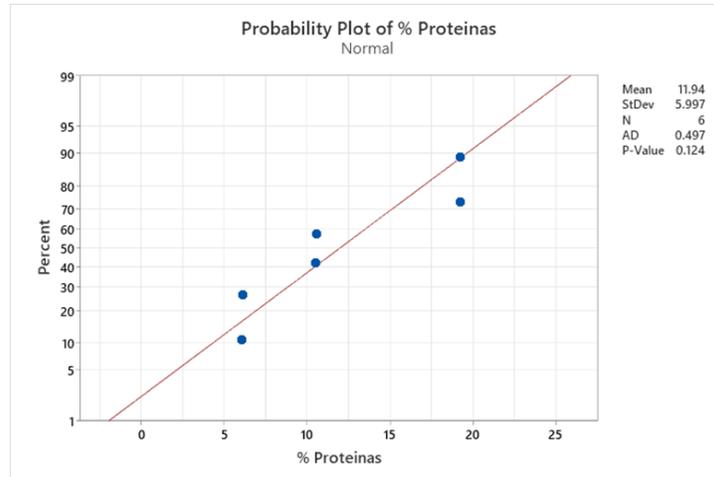


Tabla 24

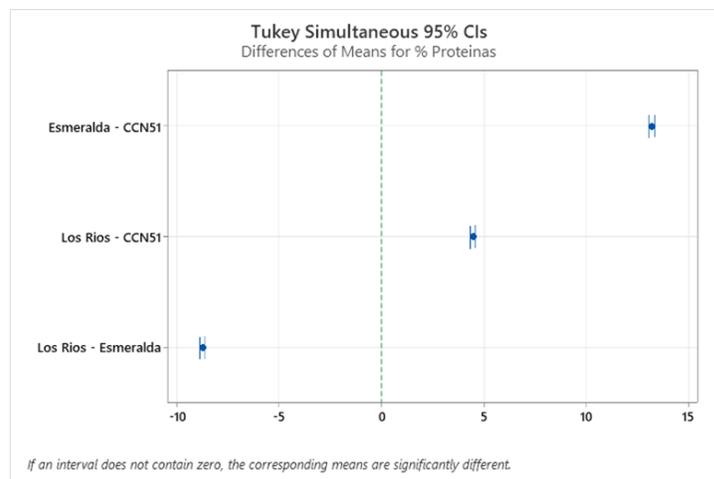
Prueba ANOVA de las proteínas de los licores

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tipo de licor	2	179.820	89.9102	90338.32	0.000
Error	3	0.003	0.0010		
Total	5	179.823			

Figura 18

Prueba Tukey de las proteínas de los licores



Apéndice K

Análisis estadístico de los polifenoles de los licores

Figura 19

Prueba de normalidad de los polifenoles de los licores

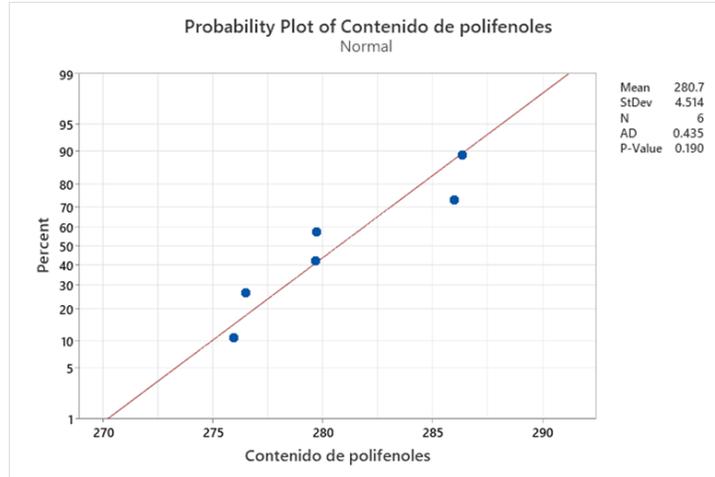


Tabla 25

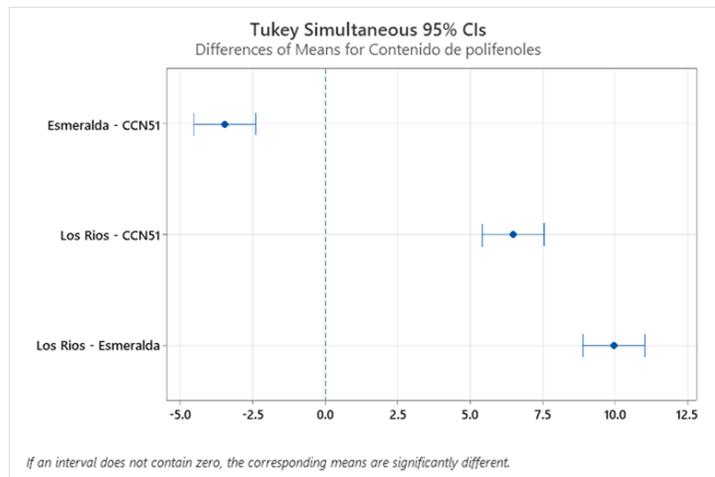
Prueba ANOVA de las proteínas de los licores

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tipo de licor	2	101.676	50.8379	778.73	0.000
Error	3	0.196	0.0653		
Total	5	101.872			

Figura 20

Prueba Tukey de las proteínas de los licores



Apéndice L

Pruebas de Kruskal-Wallis de los atributos sensoriales de los licores

Prueba de Kruskal-Wallis: Cacao vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	5	32.2	-1.24
Esmeralda	24	5	36.9	0.12
Los Rios	24	5	40.4	1.12
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	1.86	0.395
Ajustado para empates	2	1.96	0.376

Prueba de Kruskal-Wallis: Acidez vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	4	47.4	3.13
Esmeralda	24	2	20.9	-4.47
Los Rios	24	3	41.2	1.34
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	21.08	0.000
Ajustado para empates	2	22.70	0.000

Prueba de Kruskal-Wallis: Amargor vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	3	43.6	2.05
Esmeralda	24	3	38.7	0.64
Los Rios	24	2	27.1	-2.69
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	7.89	0.019
Ajustado para empates	2	9.21	0.010

Prueba de Kruskal-Wallis: Astringencia vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	3	38.5	0.56
Esmeralda	24	3	39.8	0.94
Los Rios	24	3	31.3	-1.51
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	2.31	0.314
Ajustado para empates	2	2.67	0.263

Prueba de Kruskal-Wallis: Fruta fresca vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	2	41.9	1.54
Esmeralda	24	1	26.6	-2.83
Los Rios	24	2	41.0	1.29
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	8.04	0.018

Ajustado para empates	2	9.06	0.011
-----------------------	---	------	-------

Prueba de Kruskal-Wallis: Fruta marrón vs. Tipo licor
Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	1.5	39.3	0.80
Esmeralda	24	1.0	32.9	-1.05
Los Rios	24	1.0	37.4	0.24
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	1.20	0.550
Ajustado para empates	2	1.41	0.494

Prueba de Kruskal-Wallis: Vegetal vs. Tipo licor
Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	1.0	35.0	-0.44
Esmeralda	24	1.5	41.3	1.37
Los Rios	24	1.0	33.3	-0.93
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	1.95	0.377
Ajustado para empates	2	2.26	0.324

Prueba de Kruskal-Wallis: Floral vs. Tipo licor
Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	0	33.5	-0.87
Esmeralda	24	0	40.5	1.15
Los Rios	24	0	35.5	-0.27
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	1.43	0.488
Ajustado para empates	2	2.86	0.239

Prueba de Kruskal-Wallis: Madera vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	2	37.0	0.15
Esmeralda	24	2	40.7	1.20
Los Rios	24	1	31.8	-1.35
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	2.19	0.334
Ajustado para empates	2	2.64	0.268

Prueba de Kruskal-Wallis: Especiado vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	1.0	33.3	-0.91
Esmeralda	24	1.5	44.5	2.29
Los Rios	24	1.0	31.7	-1.39
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	5.34	0.069
Ajustado para empates	2	6.04	0.049

Prueba de Kruskal-Wallis: Nuez vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	1.0	32.0	-1.28
Esmeralda	24	1.5	39.5	0.87
Los Rios	24	1.0	38.0	0.42
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	1.72	0.424
Ajustado para empates	2	1.92	0.382

Prueba de Kruskal-Wallis: Caramelo vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	0	36.6	0.04
Esmeralda	24	0	32.0	-1.29
Los Rios	24	0	40.9	1.25
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	2.16	0.340
Ajustado para empates	2	6.55	0.038

Prueba de Kruskal-Wallis: Grado de tostado vs. Tipo licor

Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	5	31.8	-1.34
Esmeralda	24	6	44.8	2.37
Los Rios	24	5	32.9	-1.03
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	5.66	0.059
Ajustado para empates	2	6.28	0.043

Prueba de Kruskal-Wallis: Sabores atípicos vs. Tipo licor Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	1	37.9	0.39
Esmeralda	24	2	43.8	2.10
Los Rios	24	0	27.8	-2.50
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	7.21	0.027
Ajustado para empates	2	8.11	0.017

Prueba de Kruskal-Wallis: Calidad global vs. Tipo licor Estadísticas descriptivas

Tipo licor	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
CCN-51	24	6	35.7	-0.23
Esmeralda	24	5	27.7	-2.52
Los Rios	24	7	46.1	2.75
General	72		36.5	

Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	9.33	0.009
Ajustado para empates	2	10.02	0.007

Apéndice M

Figura 21

Tabla relacional de actividades en la línea de producción de licor de cacao a escala laboratorio

¿Cuántos departamentos quiere implantar?

A=6, E=5, I=4, O=3, U=2, X=1

Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Recepción	5.26512	A	I	I	U	X	X	X	X	X	
2 macenamiento MP	1.99962		E	I	X	X	X	X	X	X	
3 Clasificación	6.9888			I	U	I	X	X	X	X	
4 Tostado	3.17184				E	I	O	X	X	X	
5 Triturado	2.32848					A	O	O	X	X	
6 Descascarillado	6.70656						O	O	X	X	
7 Calentamiento	4.565169							E	O	X	
8 Molienda	2.5515								E	O	
9 Empacado	6.95604									O	
10 Almacenamiento	2.058										

Figura 22

Tabla de necesidades de espacio para la línea de producción de licor de cacao a escala laboratorio

		Area m ²			Ss (ESTATICA)												Se (EVOLUCION)			
		Capacidad total m2	44.28	8.2	5.4	Medidas			Volumen	Área	#	Área	Coefficiente	Área	Stotal	Área total por departamento				
Departamento	Actividad	Equipo	Capacidad [kg/h]	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	m ³	m ²	Lados usados	m ²	K	m ²	Ss1+Ss2+Se				
1	Recepción	Recepción de granos de cacao	Mesa	50kg	1.2	0.75	0.95	1.2	0.75	0.95	0.855	0.9	3	2.7	0.05	0.18	3.78	14.25354		
		Oficina	Mesa		0.68	0.52	1.15	0.68	0.52	1.15	0.40664	0.3536	3	1.0608	0.05	0.07072	1.48512			
		Almacenamiento materia prima	Repisa	100kg	1.058	0.45	2	1.058	0.45	2	0.9522	0.4761	3	1.4283	0.05	0.09522	1.99962			
		Clasificación y limpieza	Mesa	50kg	1.2	0.75	0.95	1.2	0.75	0.95	0.855	0.9	4	3.6	0.05	0.225	4.725			
		Limpieza de manos y materiales	Lavadero		0.98	0.44	0.68	0.98	0.44	0.68	0.293216	0.4312	4	1.7248	0.05	0.1078	2.2638			
2	Producción de nibs	Tostado	Tostador	15 kg/ batch	0.64	0.59	0.62	0.64	0.59	0.62	0.234112	0.3776	3	1.1328	0.05	0.07552	1.58592	12.20688		
		Tostado	Tostador	15 kg/ batch	0.64	0.59	0.62	0.64	0.59	0.62	0.234112	0.3776	3	1.1328	0.05	0.07552	1.58592			
		Limpieza de manos y materiales	Lavadero		0.98	0.44	0.68	0.98	0.44	0.68	0.293216	0.4312	3	1.2936	0.05	0.08624	1.81104			
		Triturado	Triturador	30 kg/h	0.44	0.28	0.45	0.44	0.28	0.45	0.05544	0.1232	3	0.3696	0.05	0.02464	0.51744			
		Descascarillado	Descascarillador	30 kg/h	0.52	0.67	1.02	0.52	0.67	1.02	0.355368	0.3484	3	1.0452	0.05	0.06968	1.46328			
		Descascarillado	Descascarillador	30 kg/h	0.52	0.67	1.02	0.52	0.67	1.02	0.355368	0.3484	3	1.0452	0.05	0.06968	1.46328			
		Limpieza de nibs	Mesa	50kg	1.2	0.75	0.95	1.2	0.75	0.95	0.855	0.9	3	2.7	0.05	0.18	3.78			
3	Producción de licor	Calentamiento de nibs	Estufa	56 l	1.165	0.933	1.59	1.165	0.933	1.59	1.728243	1.0869	3	3.260835	0.05	0.217389	4.565169	16.130709		
		Molienda	Molino	4 kg/h	0.55	0.3	0.63	0.55	0.3	0.63	0.10395	0.165	3	0.495	0.05	0.033	0.693			
		Molienda	Molino	4 kg/h	0.55	0.3	0.63	0.55	0.3	0.63	0.10395	0.165	3	0.495	0.05	0.033	0.693			
		Molienda	Molino	4 kg/h	0.55	0.3	0.63	0.55	0.3	0.63	0.10395	0.165	3	0.495	0.05	0.033	0.693			
		Reposo	Baño María	7l	0.45	0.25	0.22	0.45	0.25	0.22	0.02475	0.1125	3	0.3375	0.05	0.0225	0.4725			
		Moldeado, enfriamiento y empaquetado	Mesa	56 l	1.4	0.7	0.95	1.4	0.7	0.95	0.931	0.98	4	3.92	0.05	0.245	5.145			
		Limpieza de materiales	Lavadero		0.98	0.44	0.68	0.98	0.44	0.68	0.293216	0.4312	3	1.2936	0.05	0.08624	1.81104			
		Almacenamiento del producto final	Refrigerador	200 - 500 l	0.7	0.7	1.8	0.7	0.7	1.8	0.882	0.49	3	1.47	0.05	0.098	2.058			
															22.891	42.591129				