

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**“OPTIMIZACIÓN DEL TOSTADO DE CACAO ICS-95 MEDIANTE
EVALUACIÓN SENSORIAL Y COMPORTAMIENTO REOLÓGICO
DEL LICOR”**

Tesis

Para optar el Título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

SOTO ASTUHUAMAN, ROYAL

Tingo María – Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail; fiia@unas.edu.pe

*"Año del Bicentenario, de la Consolidación de Nuestra Independencia, y de la
Commemoración de las Heroicas Batallas de Junín y Ayacucho"*

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 002-2024

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 30 de abril del 2024, a horas 9:00 a.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bach. **ROYAL SOTO ASTUHUAMAN**, titulada:

"OPTIMIZACIÓN DEL TOSTADO DE CACAO ICS-95 MEDIANTE EVALUACIÓN SENSORIAL Y COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL LICOR"

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran *aprobado* con el calificativo de *muy bueno*; en consecuencia, la sustentante, queda **APTO** para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 30 de abril del 2024


Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Presidente


Dra. Luz Milagros Follegatti Romero
Miembro


Dr. Roberto Davila Trujillo
Miembro


M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas
Asesor


M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 231 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Industrias Alimentarias

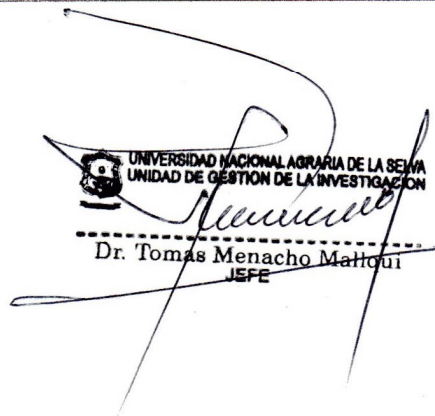
Tipo de documento:

Tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
"OPTIMIZACIÓN DEL TOSTADO DE CACAO ICS-95 MEDIANTE EVALUACIÓN SENSORIAL Y COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL LICOR	SOTO ASTUHUAMAN, ROYAL	11 % Once

Tingo María, 30 de julio de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomás Menacho Mattoqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**“OPTIMIZACIÓN DEL TOSTADO DE CACAO ICS-95 MEDIANTE
EVALUACIÓN SENSORIAL Y COMPORTAMIENTO REOLÓGICO
DEL LICOR”**

Autor	:	Royal Soto Astuhuaman
Asesor (es)	:	M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda Ing. Zara Elizabeth Saavedra Gómez
Área de Investigación	:	Ciencias de Alimentos
Grupo de investigación	:	Ingeniería de Alimentos - IA
Línea de investigación	:	Ingeniería de Alimentos
Lugar de ejecución	:	UNAS
Duración	:	Octubre 2020 – marzo 2021
Financiamiento	:	S/. 6780,50

Tingo María – Perú, 2023

DEDICATORIA

A Dios: Por haberme dado la vida, salud y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional, así como también cuidarme, guiarme y fortalecerme cada día.

A mi madre: Zenaida Marcia Astuhuaman Esteban, por darme la vida, su sacrificio y su apoyo constante en todas las etapas de mi vida, por ser mi motor para conseguir todos mis objetivos.

A mi abuela: Liberata Ponce Primo, por haber sido parte importante durante mi niñez, por inculcarme valores para convertirme en una persona de bien.

A mis hermanos: Milver, Yomer, Liz, Benjamín y Morelia, por su apoyo incondicional durante toda mi etapa universitaria. En especial a mi hermano Yomer Soto, por apoyarme económicamente para culminar de manera satisfactoria la universidad.

A mi querida Flor Julieta Mejía Mendoza, por ser una persona importante en mi vida, por motivarme a seguir creciendo y aporta mucho a valor a mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias y toda su plana de docentes que aportaron en gran medida en mi formación profesional.

A mis asesores Ing. M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas, Ing. M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda, por la enseñanza durante mi vida universitaria y la asesoría para la formulación, ejecución y redacción de este proyecto. A mi asesora Ing. M. Sc. Zara Saavedra Gómez por su apoyo incondicional para la ejecución de mi proyecto, mediante la gestión permisos de laboratorio de Alianza Cacao Perú y brindarme el espacio y equipos de su planta de producción.

A los miembros del jurado Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio, Dra. Luz Milagros Mollegatti Romero y Dr. Roberto Dávila Trujillo por las sugerencias para consolidar el presente trabajo.

A la Ing. Yessenia Saavedra Gómez por su apoyo constante para mi formación profesional e incursión en el mundo del cacao y sus derivados.

Al CITE agroindustrial Huallaga, Alianza Cacao Perú y la empresa KATO S.A.C. por brindarme sus instalaciones para la ejecución de este proyecto.

A mis amigos Orlando Laban Gupioc y Jhoselin Oscco Céspedes por su amistad y haber compartido buenos momentos en la universidad.

A mis amigos de la promoción 2012: Andy Chávez Rafael, Juan Carlos Benavides Aspajo (que en paz descansa), Imer Gonzales Sobrados, Dámaris Eugenio Condezo con la que compartimos grandes momentos durante nuestra vida universitaria.

ÍNDICE

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Generalidades del cacao.....	4
2.2.1. Definición y distribución	4
2.2.2. Clasificación taxonómica	5
2.2.3. Clasificación del cacao	6
2.2.4. Cacao fino de aroma	6
2.3. Cacao ICS-95	7
2.4. Tostado del cacao	7
2.5. Análisis sensorial	8
2.6. Reología.....	9
2.6.1. Reología del chocolate.....	9
2.6.2. Modelos reológicos	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Lugar de ejecución.....	13
3.2. Materiales y equipos de laboratorio y/o procesos	13
3.2.1. Materiales de laboratorio y/o procesos.....	13
3.2.2. Equipos de laboratorio y/o procesos.....	13
3.3. Métodos de análisis.....	14
3.4. Metodología experimental	14
3.4.1. Evaluación del rendimiento en la obtención de licor de cacao.....	14
3.4.2. Determinación de parámetros reológicos del licor de cacao	16
3.4.3. Evaluación sensorial del licor de cacao	16

	6
3.4.4 Optimización por metodología de superficie respuesta.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1. Evaluación del rendimiento en la obtención de licor de cacao.....	19
4.2. Determinación de parámetros reológicos del licor de cacao	20
4.2.1. Viscosidad aparente	20
4.2.2. Índice de consistencia e índice de flujo	22
4.3. Evaluación sensorial	25
4.3.1. Escala de calidad	25
4.3.2. Evaluación de la intensidad y perfiles sensoriales.....	26
4.4. Optimización del tostado	31
V. CONCLUSIONES.....	37
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	38
VII. REFERENCIAS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pag.
1. Variables de proceso y sus niveles para el diseño factorial completo de 3^2	15
2. Experimentos para los 3^2 diseños factoriales completos con sus variables respuestas	18
3. Obtención de licor y rendimiento	19
4. Parámetros reológicos del licor de cacao a 30 °C	23
5. Optimización de temperatura y tiempo de tostado por atributos.....	32
6. Valores óptimos de temperatura y tiempo de tostado	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pag.
1. Distribución geográfica potencial de <i>Theobroma cacao</i> L.....	5
2. Proceso de obtención de licor de cacao	14
3. Esquema del proceso de tostado de los granos de cacao	15
4. Pérdida de peso por operación en la obtención de licor de cacao	20
5. Reograma del comportamiento reológico del licor de cacao para los 9 tratamientos ..	21
6. Comportamiento reológico del licor de cacao para los 9 tratamiento de tostado.....	22
7. Comportamiento reológico del licor de cacao a diferentes temperaturas.....	24
8. Evaluación sensorial según la escala de calidad a diferentes temperaturas de tostado	26
9. Perfil sensorial del aroma de licor de cacao ICS-95.....	27
10. Mapa de calor de los diferentes atributos y descriptores de cacao ICS-95	28
11. Perfil sensorial de la acidez de licor de cacao ICS-95.....	29
12. Perfil sensorial del amargor de licor de cacao ICS-95	29
13. Perfil sensorial del sabor de licor de cacao ICS-95	30
14. Superficies y contornos de respuesta para el aroma (A) y acidez (B).....	33
15. Superficies y contornos de respuesta para amargor (A) y astringencia (B)	34
16. Superficie y contorno de respuesta para los defectos	34
17. Superficie y contorno de respuesta para sabor (A) y pos gusto (B)	35
18. Superficie y contorno de respuesta para puntaje final (A) y OSVR (B)	36

RESUMEN

Se optimizó el tostado de los granos de cacao ICS-95 procedente de Santa Rosa de Alto Yanajanca, provincia de Marañón, departamento Huánuco mediante evaluación sensorial, también se determinó el comportamiento reológico del licor o pasta de cacao. El tostado fue realizado en horno por convección de aire caliente a las temperaturas (110, 120 y 130 °C) y tiempos de tostado (15, 20 y 25 minutos). La evaluación reológica fue realizada con el viscosímetro rotacional Brookfield DV-III Ultra, siguiendo la metodología de los manuales de operación M98-211-E0912 y M/91-210-I297. Los parámetros reológicos se determinaron con el modelo ley de potencia. La evaluación sensorial se realizó según la ficha de catación para análisis sensorial de cacao elaborado por USAID, Equal Exchange Creative (EEC) y TCHO publicado el 2018. La optimización se realizó con el diseño completo al azar con arreglo factorial de 3^2 , se prosiguió con la optimización simultánea de varias respuestas. El licor de cacao ICS-95 es un fluido no newtoniano pseudoplástico ($n < 1$), el índice de comportamiento de flujo estuvo en el rango de 0,441 a 0,681 y el índice de consistencia se reduce con el aumento de la temperatura. Los puntajes de la evaluación sensorial del licor de cacao ICS-95 según la escala de calidad estuvo en el rango de 6 – 8 calificativo de bueno, mientras que en la escala de intensidad no evidenció la presencia de algún descriptor dominante o extremo, solo cinco descriptores caracterizaron la muestra y otros cinco mostraron su presencia, sin embargo, la mayoría apenas fueron detectados. La escala de calidad de la evaluación sensorial fue utilizada para realizar la optimización del tostado, mediante una optimización simultánea de varias respuestas se determinó que la temperatura óptima de tostado en las condiciones del estudio fue de 121,1 °C por 19,1 minutos.

Palabras claves:

Theobroma cacao, cacao, propiedades, cocción extrusión, tostado (proceso), análisis organoléptico.

ABSTRACT

The roasting of ICS-95 cacao beans from Santa Rosa de Alto Yanajanca in the Marañon province of the Huanuco region [in Peru], was optimized using a sensory evaluation, and the rheological behavior of the liquor and the paste from the cacao was determined. The roasting was done in a hot air convection oven at temperatures of 110, 120 and 130 °C and roasting times of 15, 20 and 25 minutes. The rheological evaluation was carried out using the Brookfield DV-III Ultra rotational viscosimeter, following the methodology in the M98-211-E0912 and M/91-210-I297 operation manuals. The rheological parameters were determined using the power law model. The sensory evaluation was carried out according to the cupping sheet for the sensory analysis of cacao, created by USAID, Equal Exchange Creative (EEC) and the TCHO chocolate company in the United States. The optimization was done using the completely randomized design with a 3x3 factorial arrangement, followed by the simultaneous optimization with various responses. The ICS-95 cacao liquor is a non-Newtonian pseudoplastic fluid ($n < 1$); the flow behavior index was in the range from 0.441 to 0.681, and the consistency index was reduced as the temperature increased. The sensory evaluation score of the ICS-95 cacao liquor, according to the quality scale, was in the range of 6 – 8, [thus, being] classified as “good;” while the intensity scale did not reveal the presence of any dominant or extreme descriptors, only five descriptors characterized the sample, and another five had a presence, nonetheless, the majority were barely detected. The quality scale for the sensory evaluation was used to optimize the roasting, through a various response simultaneous optimization it was determined that the optimal roasting temperature for the conditions in the study was 121.1 °C for 19.1 minutes.

Keywords:

Theobroma cacao, cacao, properties, extrusion cooking, roasting (process), organoleptic analysis.

I. INTRODUCCIÓN

En todas partes del planeta, los artículos elaborados a base de cacao, como el chocolate, son considerados como uno de los placeres más apreciados. Además de su exquisito sabor, el cacao es reconocido por sus bondades para la salud. Los granos de cacao provienen de las vainas recolectadas de los árboles de cacao. Diversos estudios han evidenciado las propiedades antioxidantes, cardiovasculares y vasodilatadoras de los polifenoles, elementos ampliamente presentes en el cacao (Lemarcq et al., 2020).

Para obtener chocolate a partir de los granos de cacao, los granos deben pasar por un complicado proceso tecnológico. Un paso muy importante en este proceso es el tostado, cuyo objetivo principal es convertir los granos secos fermentados en materia prima microbiológicamente limpia, con un aroma y sabor característicos y con una fragilidad adecuada (Żyżelewicz et al., 2016). El método de tostado por convección se aplica con mayor frecuencia. En este método, los granos de cacao crudos se someten a un flujo forzado de aire caliente. En este estudio se realizará el tostado de los granos de cacao ISC-95 en el rango de temperatura entre 110 y 130 °C y por tiempo entre 15 y 25 min.

Las propiedades reológicas determinan la eficiencia de mezclado, bombeo y transporte de productos terminados durante el procesamiento. El control de la reología del chocolate es importante para la calidad y el control exacto del peso durante los procesos de recubrimiento, confección de cáscaras y moldeado. Los parámetros de procesamiento como el conchado, la distribución del tamaño de las partículas, el contenido de grasa, los emulsionantes, el temple, las vibraciones y la temperatura influyen en las propiedades reológicas y el costo de producción (Afoakwa et al., 2008).

La creación de sensaciones únicas que provoca el chocolate está vinculada al perfil de fusión en la boca, así como a las características específicas de olor y sabor (propiedades aromáticas). En cuanto al aroma del chocolate, la presencia de cacao en el proceso de elaboración y producción es fundamental para garantizar que el producto final cuente con las cualidades de calidad deseadas. Los factores que influyen en el desarrollo del aroma en los granos de cacao y en el chocolate abarcan el cultivo del cacao (incluyendo su origen genético y las condiciones climáticas), los procedimientos posteriores a la cosecha (como las etapas de

fermentación y secado) y el tratamiento del chocolate (mediante el tostado y el conchado) (Toker et al., 2020).

El propósito del presente estudio fue optimizar el tostado de los granos de cacao ICS-95 del Alto Huallaga mediante evaluación sensorial y determinar el comportamiento reológico del licor. Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el rendimiento en la obtención de licor de cacao ICS-95.
- Determinar los parámetros reológicos del licor de cacao ICS-95.
- Evaluar sensorialmente el licor de cacao ICS-95.
- Optimizar la temperatura y el tiempo de tostado del cacao ICS-95 mediante superficie de respuesta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Los métodos estadísticos modernos, como el diseño de experimentos y la metodología de superficie de respuesta, son ampliamente utilizados en la descripción de cambios en procesos multiparamétricos durante el procesamiento de alimentos. Aunque estos enfoques son comunes en contextos científicos y tecnológicos, se ha prestado menos atención al caso del tostado del cacao en comparación con otros alimentos y procesos. Se utilizó el diseño de experimentos para establecer un modelo de tostado de cacao para componentes relevantes relacionados con el sabor. Se desarrollaron modelos de alta calidad para predecir la concentración de compuestos químicos en el cacao tostado, lo que podría ayudar a optimizar las condiciones de procesamiento y mejorar el sabor de los productos de chocolate (Andruszkiewicz et al., 2021).

El estudio se centró en el impacto del tostado en la extracción de manteca de cacao, utilizando el Diseño Compuesto Central. Se evaluaron temperaturas y tiempos de tostado en un rango específico, destacando que estas condiciones influyeron significativamente en la cantidad de manteca obtenida. Se identificaron las mejores combinaciones de temperatura y tiempo para lograr un rendimiento de extracción del 25%. A pesar de esto, la manteca de cacao resultante mostró diversidad en textura, color y olor. Las propiedades fisicoquímicas de la manteca no variaron según las condiciones de tostado, manteniendo índices de yodo y saponificación normales. Sin embargo, los niveles de humedad de la manteca estudiada superaron los estándares habituales. (Mounjouenpou et al., 2018).

El estudio analizó cómo la temperatura de tostado (80, 120 y 160 °C) y el tiempo (20, 40 y 60 min) afectan la aceptabilidad sensorial del chocolate. Se encontró que la temperatura de tostado tuvo un mayor impacto que el tiempo, con una disminución en la aceptabilidad a 160 °C debido a olores y sabores quemados. Las temperaturas óptimas para una mayor aceptabilidad estuvieron entre 90 y 110 °C. Además, se identificaron atributos sensoriales clave mediante el Análisis Descriptivo Cuantitativo y el Análisis de Componentes Principales, destacando diferencias en color, aroma y sabor entre las muestras de chocolate tostado a diferentes temperaturas. (Rocha et al., 2017).

En el estudio realizado, se utilizó cacao de la variedad Costa de Marfil y se aplicó tostado por convección. Se investigó el impacto de varios parámetros del aire, como la temperatura, la velocidad de flujo y la humedad relativa, junto con el tiempo de tostado, en el grado de pardeamiento del grano de cacao. A partir de los resultados obtenidos, se logró optimizar el proceso de tostado utilizando la metodología de superficie de respuesta, con el objetivo de obtener un color de cacao considerado aceptable (Krysiak et al., 2013).

En el estudio se investigó cómo los polifenoles y el pH afectan la calidad del sabor de los granos de cacao durante el proceso de tostado. Se descubrió que los aminoácidos y los azúcares reductores son precursores del sabor en los granos de cacao, los cuales se convierten en aromas específicos a través de reacciones de Maillard durante el tostado. Se utilizó un diseño compuesto central para determinar el efecto combinado del polifenol y el pH en este proceso. Los resultados mostraron que una menor concentración de aminoácidos y azúcares reductores se obtuvo con una mayor concentración de polifenoles y un pH más bajo. Se estableció que la concentración óptima de polifenoles era de 43 a 58 g/kg y un pH de 7,0 a 7,5 para la formación de precursores de sabor en este estudio de modelo lipídico. (Noor-Soffalina et al., 2009).

2.2. Generalidades del cacao

2.2.1. Definición y distribución

El cacao, una especie tropical originaria de América, es uno de los cultivos más importantes en las regiones tropicales del mundo. Es la materia prima para la producción de cacao en polvo, ampliamente utilizado en la industria chocolatera y alimentaria. Este cultivo arbóreo tiene una inmensa importancia científica y económica, siendo cultivado principalmente en los trópicos y subtropicos (Adenuga & Ariyo, 2020; Ebrahimzadegan et al., 2021; Hernández-Rodríguez et al., 2023).

El cacao silvestre en el neotrópico está compuesto por 22 especies del género *Theobroma*. Entre las variedades cultivadas de *T. cacao* se encuentran el criollo, forastero y trinitario. El criollo tiene su origen en Mesoamérica y el norte de Sudamérica, el forastero es diverso y se compone de múltiples grupos genéticos en la región amazónica, y el trinitario es un híbrido de cacao forastero y criollo. La producción de cacao se lleva a cabo en 61 países tropicales para abastecer a la industria chocolatera a nivel mundial (González-Orozco et al., 2020; Nieves-Orduña et al., 2023).

La distribución geográfica del cacao en la cuenca del Amazonas abarca varios países de la región, como Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia, Brasil, Venezuela y Guyana Francesa. Se encuentra en bosques no inundables y estacionalmente inundados, principalmente

en suelos neutros a aluviales. Estudios recientes han observado que el cacao se encuentra principalmente en bosques no inundados, con densidades que varían de 1 a 142 árboles por hectárea en diferentes regiones de la Amazonia (Nieves-Orduña et al., 2023).

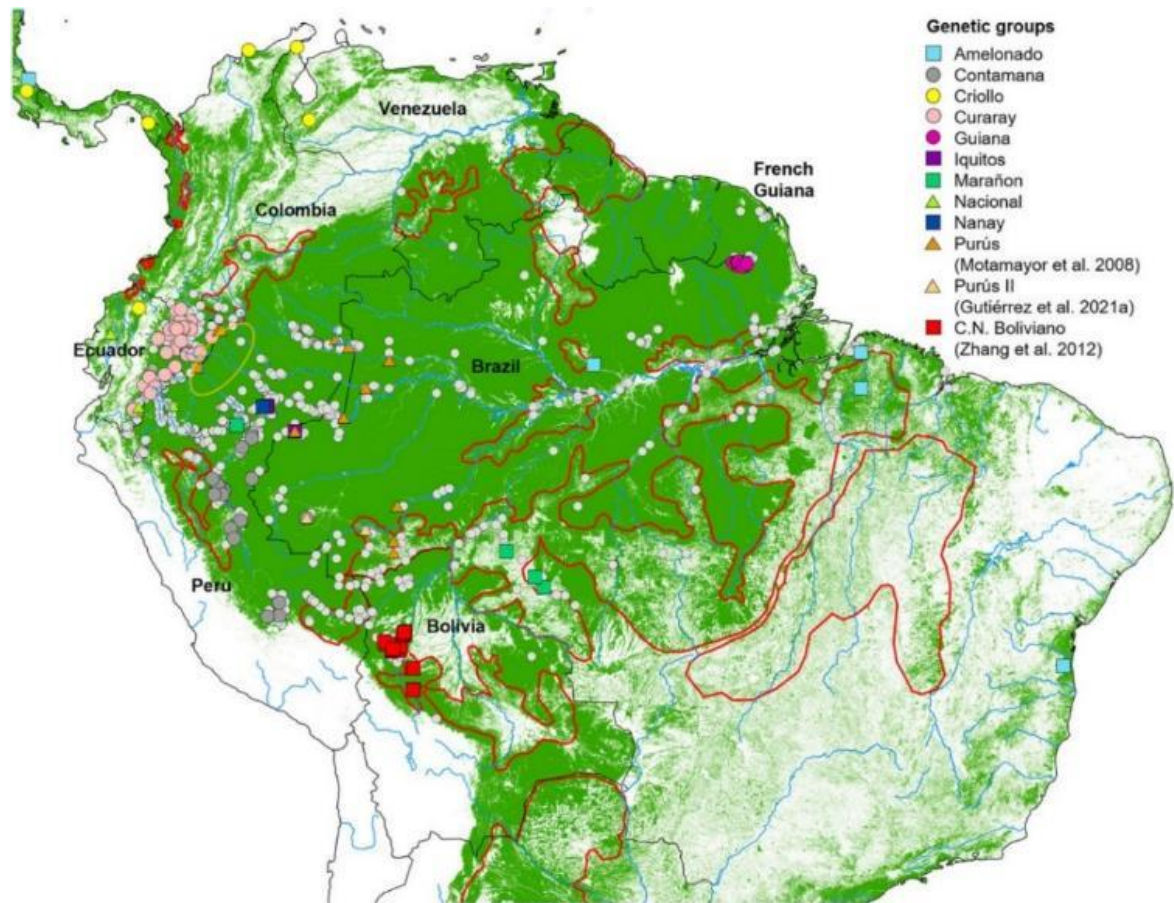


Figura 1. Distribución geográfica potencial de *Theobroma cacao L.* (Nieves-Orduña et al., 2023)

2.2.2. Clasificación taxonómica

Los árboles de cacao son especies diploides con un genoma relativamente pequeño. Este es un árbol comparativamente pequeño, tan alto como 20 m en bosques naturales y tolerantes a las sombras. Las pequeñas flores y los bisexuales del cacao (desarrollado en flores pequeñas) son polinizadas por el mosquito de la familia *Ceratopogonidae*. El fruto de cacao, globalmente a fusiforme, tiene una superficie dura y rugosa y muestra pericarpio grueso. En promedio, hay alrededor de 20 a 40 semillas ovals por fruta (vaina) con gachas blancas y dulces a su alrededor (Nieves-Orduña et al., 2023).

Según Montes (2016), la clasificación taxonómica del cacao es la siguiente

Reino	Plantae
Tipo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malvales
Familia	Sperculeaseae
Genero	Theobroma
Especie	Cacao L.

2.2.3. Clasificación del cacao

La mayor parte de la producción de cacao, que representa aproximadamente el 95%, proviene de cultivares de cacao a granel como el tipo Forastero. En contraste, la producción restante de cacao proviene de cultivares nativos o híbridos con sabores más refinados, como el tipo Criollo o Trinitario, respectivamente. Estos tipos de cacao producen chocolates con sabores especiales, como notas florales y afrutadas, muy apreciados en la elaboración de chocolates más saludables y sin azúcar (Kadow et al., 2013). Estos cultivares de cacao a granel se utilizan comúnmente en la formulación de productos de confitería ricos en azúcar y se asocian con notas de sabor básicas u ordinarias en los chocolates (Aprotosoai et al., 2016).

2.2.4. Cacao fino de aroma

El cacao fino de aroma pertenece a la clase *Magnoliopsida*, orden Malvales, familia *Malvaceae*, género *Theobroma* y especie de Cacao L. (Argout et al., 2011), es originario de las regiones selváticas de América tropical, donde se ha encontrado en estado silvestre desde Perú hasta México. Charles de L'Ecluse fue el primero en mencionar el cacao en la literatura botánica con el nombre de Cacao fructus; más tarde, en 1737, Linneo lo identificó como *Theobroma fructus*. No obstante, en 1753, Linneo mismo propuso la denominación específica de *Theobroma cacao*, la cual se ha mantenido hasta hoy en día (de Souza et al., 2018). En los granos secos y no fermentados, alrededor del 11 al 13% del tejido está compuesto por las células pigmentarias de este fruto; estas células son ricas en compuestos polifenólicos, especialmente catequinas, y presentan el distintivo color morado de los granos debido a la presencia de antocianina (Kim et al., 2011).

El cacao fino se caracteriza por sus notas aromáticas sobresalientes de flores, frutas, caramelo y nueces, a diferencia del cacao a granel que no muestra estas mismas características, sino un sabor básico distintivo a cacao (Escobar et al., 2021). En el caso de Perú, el cacao se clasifica en cuatro grupos genéticos: Trinitario (predominante en la sierra central del país, específicamente en Junín), Forastero Amazónico (cultivado principalmente en Cusco y Ayacucho), CCN 51 (ubicado mayormente en la selva peruana en San Martín y Cusco) y Cacaos Criollos nativos (especialmente en Cusco, Amazonas y Cajamarca); entre las variedades consideradas como fino de aroma se encuentran el criollo y el trinitario (Oberlack et al., 2023).

El Perú concentra el 60% de la biodiversidad del cacao a nivel global, siendo el segundo mayor exportador de cacao orgánico y destacándose por su producción y suministro de cacao fino de aroma. En el año 2017, la producción de cacao en el país alcanzó las 120,058 toneladas en una extensión de 130,000 hectáreas, cifra que aumentó a 199,000 hectáreas cultivadas en 2018. Las variedades de cacao cultivadas en Perú son Trinitario (53,3% en Junín), Forastero amazónico (37,3% en Cusco y Ayacucho) y Criollo (9,4% en el norte de San Martín, Amazonas y Cajamarca). San Martín lidera la producción nacional con 48,400 toneladas (44%), seguido por Junín con 25,500 toneladas (18.8%), Ucayali con 17,000 toneladas (12.5%), y Huánuco y Cusco con 13,000 y 10,000 toneladas respectivamente (Gutierrez et al., 2022).

2.3. Cacao ICS-95

Es un híbrido trinitario creado en 1931 en Trinidad sus siglas significan “Imperial College Selección” es un clon de alta productividad, moderadamente resistente a enfermedades, fino de aroma y de buen sabor (Pinzón et al., 2020).

En nuestro país el cultivo del cacao ICS-95, se ha encontrado en pequeñas áreas y es considerado uno de los cacaos del grupo finos de aroma. La pulpa en su estado de madurez óptima puede llegar a tener hasta 18 °Brix, acidez, astringencia, amargor de almendra y sabor floral baja y frutal medianamente intenso. Para la industria, el cacao ICS-95 contiene 56% de grasa lo cual lo posiciona como de gran importancia para su extracción y mayor aprovechamiento (Challco, 2019).

2.4. Tostado del cacao

El proceso de tostado del cacao es fundamental para realzar el sabor y aroma, además de ser crucial para garantizar la seguridad alimentaria en la elaboración de chocolate (Hurst et al., 2011). Durante el tostado, se favorece la formación del sabor característico del cacao mediante la interacción entre aminoácidos y azúcares a través de la reacción de Maillard y la degradación de Strecker (Sacchetti et al., 2016). Es por ello por lo que los productores de chocolate de alta calidad emplean el tostado como técnica para obtener propiedades sensoriales

distintivas presentes en los productos derivados de cacao de un único origen. Aunque en general existe una relación positiva entre la calidad del sabor y la temperatura de tostado (Oracz & Nebesny, 2016), un tostado excesivo (por encima de 160 °C) puede dar lugar a sabores no deseados y a un sabor quemado. Por consiguiente, en la industria de los chocolates finos, se suele optar por tostados a temperaturas inferiores a las convencionales y por tiempos de tostado más cortos. Los rangos de temperatura para el tostado pueden variar entre 110 y 160 °C (habitualmente entre 120 y 140 °C) durante períodos que oscilan entre 5 minutos y 120 minutos (por lo general de 10 a 35 minutos (Aprotosoaie et al., 2016). Asimismo, se ha comprobado que temperaturas más bajas (90-110 °C) durante el tostado del cacao aumentan la aceptación entre los consumidores (Rocha et al., 2017).

El proceso de tostado del cacao resulta fundamental en la creación del aroma característico del chocolate a partir de los compuestos previamente generados durante la etapa de fermentación. La duración y la temperatura de este proceso están influenciadas por diversos factores, como la naturaleza del cacao (ya sea en grano, nibs o licor), la variedad de producto final de cacao (chocolates oscuros o con leche) y la categoría del cacao (Criollo o Forastero). En el caso de los granos de cacao, los parámetros de tostado pueden oscilar entre los 15 y los 45 minutos, con temperaturas comprendidas entre los 130 y 150 °C. (Kothe et al., 2013).

El tostado del grano de cacao es fundamental dentro de su procesamiento, ya que al calentarlo se generan múltiples atributos beneficiosos en los granos, tales como su sabor, color y textura. A pesar de esto, este procedimiento también puede conllevar a la disminución de compuestos bioactivos como los polifenoles, a pesar de sus aspectos positivos. Por tanto, resulta vital elegir las condiciones óptimas del tostado (tiempo, temperatura, humedad y flujo de aire), junto con la fineza de los granos. (Żyżelewicz et al., 2016).

2.5. Análisis sensorial

La evaluación sensorial es un procedimiento esencial para valorar la excelencia del sabor de los comestibles porque evalúa lo que los consumidores perciben realmente; no obstante, se trata de un método subjetivo. Un caso ilustrativo es aquel en el cual un consumidor cataloga una muestra como desagradable, mientras que otro la evalúa como aceptable. Estas discrepancias son habituales en la evaluación sensorial y encuentran justificación en cuestiones como la nacionalidad, la cultura, las diferencias individuales, entre otros aspectos. Para lograr mayor objetividad a través de la evaluación sensorial, resulta fundamental formar a una cantidad razonable de panelistas. Los procedimientos y criterios de aprendizaje deben ser diseñados meticulosamente considerando los aspectos intrínsecos del alimento analizado y cualquier

posible variación entre diversas muestras originada por la formulación, el procesamiento, el envasado, las condiciones de almacenamiento, entre otros factores (Yang & Boyle, 2016).

2.6. Reología

La investigación alimentaria se beneficia del estudio de la reología de los alimentos, que analiza el comportamiento de alimentos líquidos y semisólidos ante el flujo y la deformación. En este sentido, los métodos tradicionales de análisis reológico aplicados a alimentos abarcan el flujo, la recuperación de la fluencia, la relajación de tensiones, el corte oscilatorio de baja amplitud y sus variaciones en función del tiempo o de la temperatura (Wang & Selomulya, 2022). La comprensión de la reología resulta fundamental en todas las etapas del procesamiento y la fabricación, siendo una herramienta clave en diversas industrias, como la petrolera, la de polímeros, la alimentaria y la farmacéutica, donde se utiliza en la caracterización de materiales, procesos y diseño de equipos (Ahmed & Basu, 2023).

La reología de los alimentos es un excelente ejemplo de cómo se fusiona el concepto de reología de la ciencia de los polímeros con los elementos de los alimentos, especialmente las proteínas y los polisacáridos, para convertirse en un campo de interés exitoso. La aplicación de la reología en la industria alimentaria se divide en varias categorías: (1) los desarrolladores de productos la utilizan como una herramienta y la asocian con el análisis sensorial; (2) los ingenieros investigan las relaciones entre la reología y el proceso de los alimentos, empleando datos reológicos para la mejora de procesos y productos, así como para la simulación numérica de flujos en los procesos; y (3) los científicos de materiales alimentarios se enfocan en las conexiones entre la reología y la estructura en sistemas alimentarios modelo, incluyendo flujos de modelos de reometría, desde modelos y simulaciones analíticas hasta semiempíricas (Ahmed & Basu, 2023).

2.6.1. Reología del chocolate

Evaluar de manera eficaz el rendimiento de cualquier fluido complejo utilizado en alimentos, como por ejemplo el chocolate derretido, y comprender más a fondo las relaciones entre composición y reología, resulta ser una de las principales prioridades tanto para investigadores académicos como para profesionales de la industria. Estas prácticas pueden contribuir a asegurar la calidad de diversos tipos de chocolates para los clientes y consumidores, optimizar las actividades de procesamiento ya establecidas e incluso descubrir nuevas estrategias para crear formulaciones más eficaces (Gallery et al., 2024).

Los alimentos presentan una composición altamente compleja, incluyendo agua, proteínas, carbohidratos, grasas y una cantidad significativa de fibras. Estos

elementos ejercen una influencia determinante en la estructura y el comportamiento de los alimentos. De esta manera, las propiedades reológicas de los alimentos difieren notablemente de las de los materiales poliméricos tradicionales. Diversos factores inciden en la estabilidad de los fluidos estructurados, destacando la viscosidad de la fase líquida como un factor primordial en las propiedades de fluidez del material. Actualmente, la reología de los alimentos trasciende la mera medición de la viscosidad aparente, gracias a los avances en la instrumentación que permiten ofrecer una información detallada acerca de la microestructura y la fluidez de un alimento (Ahmed et al., 2017). Existe un interés creciente por comprender la microestructura de los alimentos y su correlación con los atributos reológicos y de textura de los alimentos en el desarrollo de productos alimenticios en el mundo académico y la industria alimentaria. Este conocimiento sobre la reología y la microestructura de los alimentos ayuda a minimizar los defectos de textura en los alimentos procesados y mejorar la satisfacción del consumidor (Ahmed et al., 2017).

El chocolate exhibe propiedades no newtonianas, manifestando distintas viscosidades según la velocidad de corte. En la evaluación reológica del chocolate final se identifican la eficiencia del producto y su aceptación por parte de los consumidores como aspectos clave. En el proceso de producción, la viscosidad y el límite elástico del chocolate definen los diferentes pasos a seguir. Asimismo, las cualidades finales del chocolate (como su textura en boca y apariencia superficial) se encuentran estrechamente ligadas al comportamiento viscoso del producto. Surge así la necesidad de comprender a fondo las variables que inciden en el flujo del chocolate. Los estudios contemporáneos han proporcionado valiosos conocimientos sobre su flujo en diversas etapas, tales como el refinado, conchado y templado. Se ha debatido asimismo la influencia de la composición y las características de las partículas en dicho comportamiento, tanto en los productos intermedios como finales. Cada fase del proceso de producción -mezcla, refinación, conchado y templado- implica alteraciones en las propiedades macroscópicas de los ingredientes, con repercusiones directas en los atributos reológicos del chocolate acabado. La distribución del tamaño de partículas y la composición de ingredientes son determinantes en la configuración del flujo y en la percepción sensorial del chocolate. Las propiedades reológicas de este producto proveen valiosa información para que los científicos de alimentos optimicen sus productos y procesos de fabricación. En la actualidad, la comprensión detallada del flujo del chocolate se ha vuelto imprescindible tanto para los expertos en la materia como para la industria alimentaria (Toker et al., 2023).

2.6.2. Modelos reológicos

Reológicamente, en el caso del chocolate fundido se observa un comportamiento no newtoniano, el cual se caracteriza tradicionalmente por un umbral elástico y una viscosidad plástica. El umbral elástico está relacionado con la cantidad de energía necesaria para iniciar el flujo, mientras que la viscosidad plástica está asociada con la energía requerida para mantener dicho flujo. Los líquidos con estructura, como el chocolate fundido, presentan una alta resistencia al flujo con bajos valores de esfuerzo cortante, y su descomposición ocurre fácilmente en un rango específico de incremento en dicho esfuerzo. Las propiedades de flujo del chocolate en estado derretido se ven afectadas tanto por el proceso de fabricación (refinamiento, conchado y templado), como por su composición (cantidad de grasa, tipo y cantidad de emulsionantes, tamaño de partículas). Estas características no solo influyen en la eficiencia de operaciones como la mezcla y el bombeo, sino que juegan un rol crucial en distintas aplicaciones del chocolate, tales como el recubrimiento, la formación de coberturas y los procesos de moldeado (Fernandes et al., 2013).

En el análisis reológico de los chocolates han sido utilizados diversos modelos reológicos. La dependencia del esfuerzo cortante de la tasa de deformación cortante fue descrita mediante tres modelos matemáticos no newtonianos (plásticos) (Kumbár et al., 2021).

$$\text{Modelo de Bingham} \quad \tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\text{Modelo Herschel-Bulkley} \quad \tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

$$\text{Modelo de Casson} \quad \sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{\mu\dot{\gamma}} \quad (3)$$

Propiedades reológicas y funcionales del chocolate amargo con sustitución parcial de maní y sachá inchi fue evaluado utilizando modelo ley de potencia (Quispe-Chambilla et al., 2022).

$$\text{Modelo Ley de Potencia} \quad \tau = k\dot{\gamma}^n \quad (4)$$

Dónde τ es el esfuerzo cortante, τ_0 es el límite elástico, γ es la velocidad de deformación, μ es la viscosidad, k es el índice de consistencia y n es el índice de flujo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Los granos de cacao fueron obtenidos del Fundo Galileo, perteneciente al agricultor Aniano Acuña Ruiz, caserío de Nuevo Circuito, distrito de Santa Rosa de Alto Yanajanca, provincia de Marañón, departamento Huánuco a una altitud de 530 msnm a 8°39'08.4" de latitud Sur, a 76°18'44.7" latitud Oeste. La postcosecha del cacao se realizó en las instalaciones de la empresa Kato S.A.C. en la ciudad de Tocache. El tostado, obtención del licor de cacao, análisis sensorial y análisis reológico se realizaron en el Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica (CITE) Agroindustrial Huallaga, Alianza Cacao Perú y el laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicados en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco; a una altitud de 660 msnm a 09°17'08" de latitud Sur, a 75°59'52" de latitud Oeste, con clima tropical húmedo y con una humedad relativa media de 84% y temperatura anual de 24°C.

3.2. Materiales y equipos de laboratorio y/o procesos

3.2.1. Materiales de laboratorio y/o procesos

Bolsa de polipropileno de alta densidad (1 kg), bandeja de acero inoxidable, papel aluminio, envase de plástico (1 kg), espátula de silicona, cuchara, moldes de policarbonato (800 g), envase de plástico (20 g), ficha de evaluación sensorial, olla para baño maría Marca ExcelSteel, envases de vidrio (113 g).

3.2.2. Equipos de laboratorio y/o procesos

Refractómetro modelo THE 01501 (0-50 °brix), China; medidor de humedad modelo TG Pro coffee & cocoa (2-10.5%), Polonia; balanza electrónica digital gramera de la marca Kitcheniq (1 g – 10 kg), China; termómetro infrarrojo modelo JA-11A marca WINCO con rango de -30 °C a 500 °C, China; micrómetro modelo WD1, marca Mitutoyo (0 – 25 mm), Japón; Estufa Memmert, modelo BE-200, Alemania; descascarillador de laboratorio de la marca Candela; molinillo de café de marca BOSH (75 g), Alemania; molino refinador Spectra, modelo 11 melanger (1.5 kg capacidad), molino refinador Premier de (4 kg), India; cocina eléctrica Imaco modelo HP1400, reómetro Brookfield DV-III ULTRA.

3.3. Métodos de análisis

Tostado. Se realizó por el método reportado por Lemarcq et al (2020), con modificaciones.

Evaluación sensorial. Se realizó por el método indicado por Barrientos et al (2019), haciendo uso de la ficha de catación para análisis sensorial de cacao, elaborado por USAID, Equal Exchange Creative (EEC) y TCHO (2018).

Evaluación reológica. Según la metodología de los manuales M98-211-E0912 y M/91-210-I297 Brookfield Digital Rheometer Operating Instructions.

3.4. Metodología experimental

3.4.1. Evaluación del rendimiento en la obtención de licor de cacao

Los granos de cacaos fueron seleccionados desde el campo, se realizó el proceso poscosecha finalizando este proceso cuando los granos alcancen 7% a 7,5% de humedad.

El proceso para la obtención del licor de cacao (Figura 2), nos permitió crear las condiciones adecuadas para la evaluación sensorial de la muestra de cacao ICS-95.

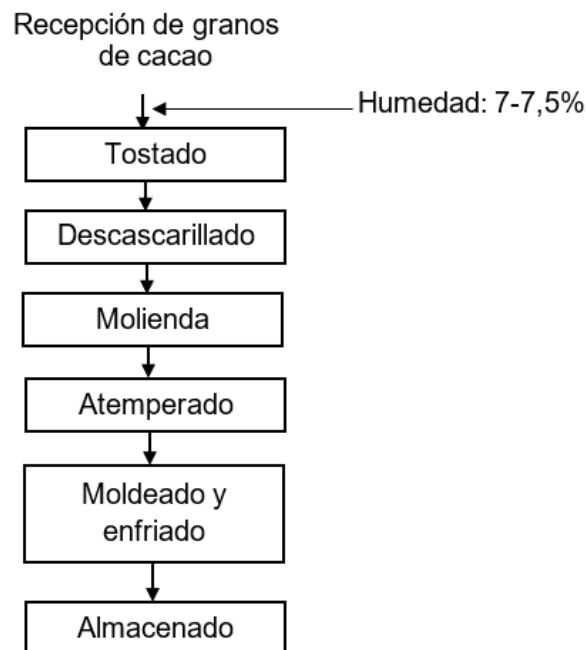


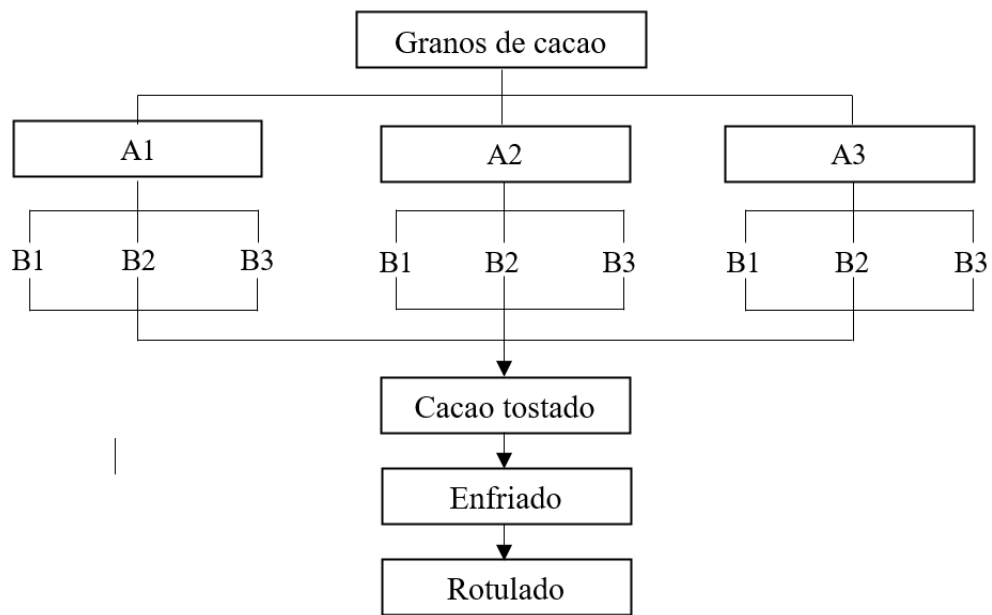
Figura 2. Proceso de obtención de licor de cacao
Lemarcq et al (2020)

Recepción de granos de cacao: La recepción de los granos de cacao, se realizó con humedad entre 7 a 7,5%.

Tostado: Las muestras de cacao fueron tostados a tres temperaturas: 110, 120 y 130 °C y tres tiempos 15, 20 y 25 minutos (Tabla 1 y Figura 3).

Tabla 1. Variables de proceso y sus niveles para el diseño factorial completo de 3^2

Valores codificados	Variables independientes del tostado	
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
-1	110 (A1)	15 (B1)
0	120 (A2)	20 (B2)
1	130 (A3)	25 (B3)

**Figura 3.** Esquema del proceso de tostado de los granos de cacao

Descascarillado: Se realizó cuando los granos de cacao alcanzaron 30 °C mediante la descascarilladora, posteriormente se retiró la cáscara.

Molienda: Las muestras de cacao, fueron colocados sobre un molino conchadora, manteniendo una temperatura uniforme máxima de 50 °C para toda la muestra hasta llegar a 30 micras.

Atemperado: El licor de cacao se enfrió hasta los 27 °C. Luego se añadió licor de cacao sin enfriar para alcanzar la temperatura de 31 °C.

Moldeado: El licor de cacao fue moldeado a 32 °C y luego enfriado de 10 °C a 15 °C con humedad relativa no mayor a 60%, posteriormente fue refrigerado para la formación de la pasta.

Almacenado: Una vez formado la pasta, se retiró los moldes y se almacenó entre 12 a 18 °C y 60% de humedad relativa.

3.4.2. Determinación de parámetros reológicos del licor de cacao

Se realizó siguiendo la metodología de los manuales M98-211-E0912 y M/91-210-I297 del reómetro rotacional Brookfield DV-III. Los nueve tratamientos (Tabla 2) fueron sometidos a pruebas continuas utilizando la geometría del usillo RVT-06 en un rango de velocidades de 10 a 100 RPM, estas velocidades fueron transformadas a rad/s mediante la ecuación (5).

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot RPM}{60} \quad (5)$$

El cálculo de la velocidad de corte o deformación se realiza mediante la ecuación (6)

$$\gamma = \frac{2\omega R_c^2 R_b^2}{x^2 [R_c^2 - R_b^2]} \quad (6)$$

Donde:

R_c radio del contenedor (cm), R_b radio del husillo (cm), x radio en el que se calculará la velocidad de corte (normalmente el mismo valor que R_b ; en centímetros), ω es la velocidad angular en rad/s, finalmente la velocidad de corte γ está dada en (1/s).

Se utilizó el husillo RVT número 6 ($R_b = 0,731 \text{ cm}$) para realizar las lecturas de los diferentes tratamientos. Se registra el torque y la viscosidad aparente. El esfuerzo de corte es calculado multiplicando la velocidad de corte (1/s) por la viscosidad aparente en Pa.s.

Los datos fueron procesados en hoja de cálculo Microsoft Excel en dos tiempos. En primer lugar, se calculó la velocidad de corte y esfuerzo de corte y en segundo lugar se realizó la estimación de los parámetros reológicos índice de consistencia e índice de flujo mediante el modelo Ley de Potencia (Ecuación 4). Para determinar los parámetros se ploteó velocidad de corte versus esfuerzo de corte, en el gráfico resultante se agregó línea de tendencia y se ajustó al modelo potencial.

3.4.3. Evaluación sensorial del licor de cacao

Preparación de las muestras: Los envases de plástico de 20 g se codificaron de manera aleatoria con números de tres dígitos distintos, en ello se colocaron las muestras de pasta de cacao, se tapó, empacó y se envió a cada evaluador.

Catación: Los catadores tomaron las muestras ubicadas de manera aleatoria, lo calentaron de 45 °C a 50 °C lo destaparon y comenzaron a evaluar el aroma, acidez, amargor, astringencia, defectos, sabor (cocoa/cacao, dulce, nuez, frutas secas, frutas frescas,

floral, especies, otros), pos-gusto, puntaje del catador y realizaron sus comentarios, por cada categoría describieron el tipo de atributos encontrados, según la intensidad en cada muestra.

La evaluación sensorial se realizó por 6 expertos en el rubro y acreditados por el Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa (SINEACE) y la Asociación Peruana de Productores de Cacao (APPCACAO) como “catadores de licor o pasta de cacao. La evaluación sensorial se hizo haciendo uso de la ficha de catación para análisis sensorial de cacao, elaborado por United States Agency International Development (USAID), Equal Exchange (EEC) y TCHO el 2018, El análisis sensorial se realizó en dos partes, según el Anexo-1.

Escala de calidad

La escala de calidad consta del análisis de 7 atributos sensoriales aroma, acidez, amargor, astringencia, defectos, sabor y pos gusto (Anexo-1), estos atributos son evaluados en un puntaje en el rango de 0 a 10, considerando a 0 como pésimo en calidad y 10 como excelente, de acuerdo con ello la sección de puntaje basado en los atributos del licor.

Escala de intensidad y perfiles sensoriales

La escala de intensidad de cada categoría consta de un rango de 0 a 5, considerando a 0 como la ausencia de cierta categoría y 5 como la presencia extrema de ella. Algunos atributos sensoriales sugeridos en la ficha son cocoa/cacao, dulce, nuez, frutas secas, frutas frescas, floral, especias y otros (Anexo-1).

3.4.4 Optimización por metodología de superficie respuesta

Se empleó un diseño factorial completo de 3^2 para estudiar sistemáticamente la influencia conjunta de las variables independientes, temperatura de tostado (A) y tiempo de tostado (B), sobre las variables dependientes sensoriales aroma, acidez, amargor, astringencia, defectos, sabor, pos gusto, puntos de catador, puntaje final. En este diseño, se evaluaron 2 factores, cada uno en 3 niveles, y se realizaron corridas experimentales en las 9 combinaciones posibles (Shah et al., 2008). Las corridas experimentales junto variables dependientes se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Experimentos para los 3^2 diseños factoriales completos con sus variables respuestas

Bloque	Niveles de factor		Variables respuesta						
	A, °C	B, min	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₈	Y ₉
1	110	15							
1	110	20							
1	110	25							
1	120	15							
1	120	20							
1	120	25							
1	130	15							
1	130	20							
1	130	25							

Se utilizó un modelo estadístico que incorpora términos interactivos y polinomiales para evaluar la respuesta (Shah et al., 2008):

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_{11}A^2 + b_{22}B^2 + b_{12}AB \quad (6)$$

Donde Y es la variable dependiente, b_0 es la respuesta media aritmética de las nueve ejecuciones, mientras que b_1 y b_2 son los coeficientes estimados para los factores A y B. Los efectos principales (A y B) reflejan el promedio obtenido al modificar un factor desde su valor mínimo hasta su valor máximo. Las interacciones (AB) indican cómo varía la respuesta al modificar 2 factores al mismo tiempo. Se incorporan los términos polinomiales (A^2 y B^2) para analizar la posible no linealidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación del rendimiento en la obtención de licor de cacao

El licor de cacao es un tipo de producto importante, todos los tratamientos fueron preparados siguiendo las operaciones unitarias de recepción, tostado, descascarillado y molido (Tabla 3). El licor de cacao obtenido se convierte en el ingrediente fundamental para la producción de chocolate. Es necesario resaltar que el proceso de tostado resulta crucial para realzar el sabor a partir de los compuestos formados durante la fermentación y el secado, los cuales son influenciados principalmente por la temperatura y el tiempo de tostado (Di Carro et al., 2015).

Tabla 3. Obtención de licor y rendimiento

Tratamientos	Peso (g)				Licor de cacao (g)	Rendimiento (%)
	1	2	3	4		
T1 110 °C (15 min)	1000	941	862	787	787	78,70
T2 110 °C (20 min)	1000	938	857	762	762	76,20
T3 110 °C (25 min)	1000	933	842	728	728	72,80
T4 120 °C (15 min)	1000	892	813	703	703	70,30
T5 120 °C (20 min)	1000	822	787	684	684	68,40
T6 120 °C (25 min)	1000	803	782	648	648	64,80
T7 130 °C (15 min)	1000	822	742	622	622	62,20
T8 130 °C (20 min)	1000	824	713	610	610	61,00
T9 130 °C (25 min)	1000	728	672	612	612	61,20

1: Recepción 2: Tostado 3: Descascarillado 4: Molido

Se realizó el tostado de los granos enteros de cacao entre 110 y 130 °C, al respecto Żyżelewicz et al. (2014) menciona que los granos se tuestan a temperaturas que oscilan entre 110 y 180 °C, aunque normalmente se tuestan entre 130 y 150 °C, y en el caso de las variedades nobles, entre 110 y 120 °C. El rango de temperatura estudiado se basó en la obtención de licor, según la literatura se requiere mejores condiciones de temperatura y duración de tostado (Mounjouenpou et al., 2018).

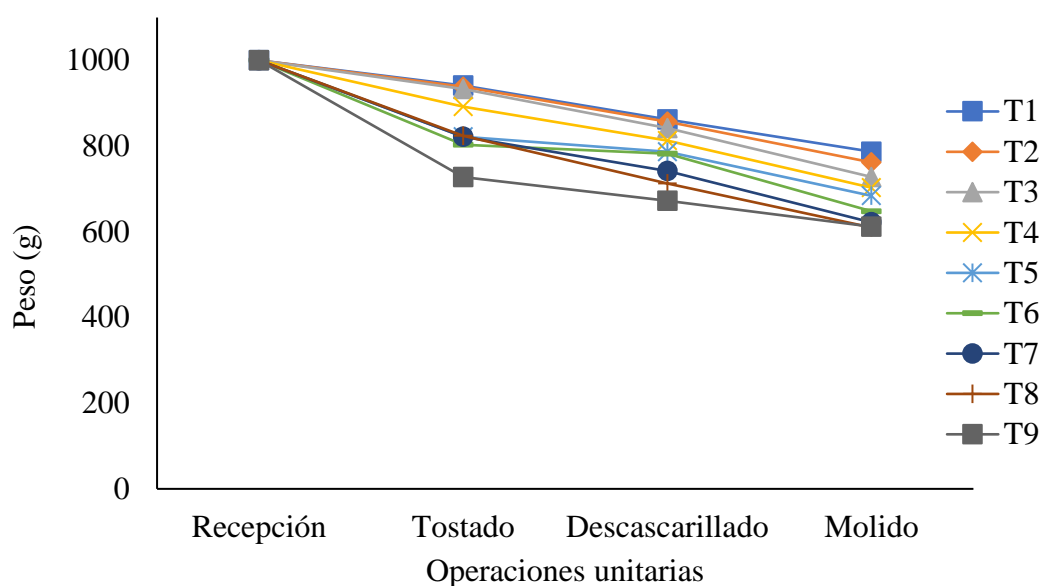


Figura 4. Pérdida de peso por operación en la obtención de licor de cacao

En la Figura 4 se puede observar que los tratamientos T7, T8 y T9 se realizaron a 130 °C y por lo tanto evaporan la mayor cantidad de agua de los granos de cacao durante el tostado manifestándose en la reducción de su peso, debido a que inicialmente se evapora el agua presente cerca de la superficie y posteriormente el agua de las capas internas de las células del parénquima se mueve hacia la superficie (Kashaninejad et al., 2007), este proceso dinámico se ve favorecido cuando la temperatura aumenta.

El descascarillado de los tratamiento tostados a 130 °C reporta mayores pérdidas de peso (Figura 4), al respecto Żyżelewicz et al. (2014) mencionan que el tostado se caracteriza por niveles relativamente altos de daños en los granos debido a la carga mecánica, especialmente cuando se combina con el tostado de granos bien fermentados provenientes de frutos de cacao muy maduros, provocando la liberación de grasa de las células dañadas de la semilla del cacao, absorbida por la cáscara, lo que se traduce en pérdidas de este valioso y apreciado ingrediente.

4.2. Determinación de parámetros reológicos del licor de cacao

4.2.1. Viscosidad aparente

Los resultados demuestran que la viscosidad aparente de todos los tratamientos corresponde a fluidos no newtonianos pseudoplásticos (Figura 5). La influencia de la viscosidad aparente en las soluciones acuosas se manifiesta en la percepción del sabor y en la intensidad gustativa al ingerirlo, razón por la cual las mediciones reológicas suelen revelar detalles vinculados al aspecto sensorial del chocolate (Afoakwa et al., 2007). Los resultados

concuerdan con Fernandez et al. (2013) quienes afirman que reológicamente el chocolate fundido exhibe un comportamiento no newtoniano, que se define convencionalmente por un límite elástico y una viscosidad plástica.

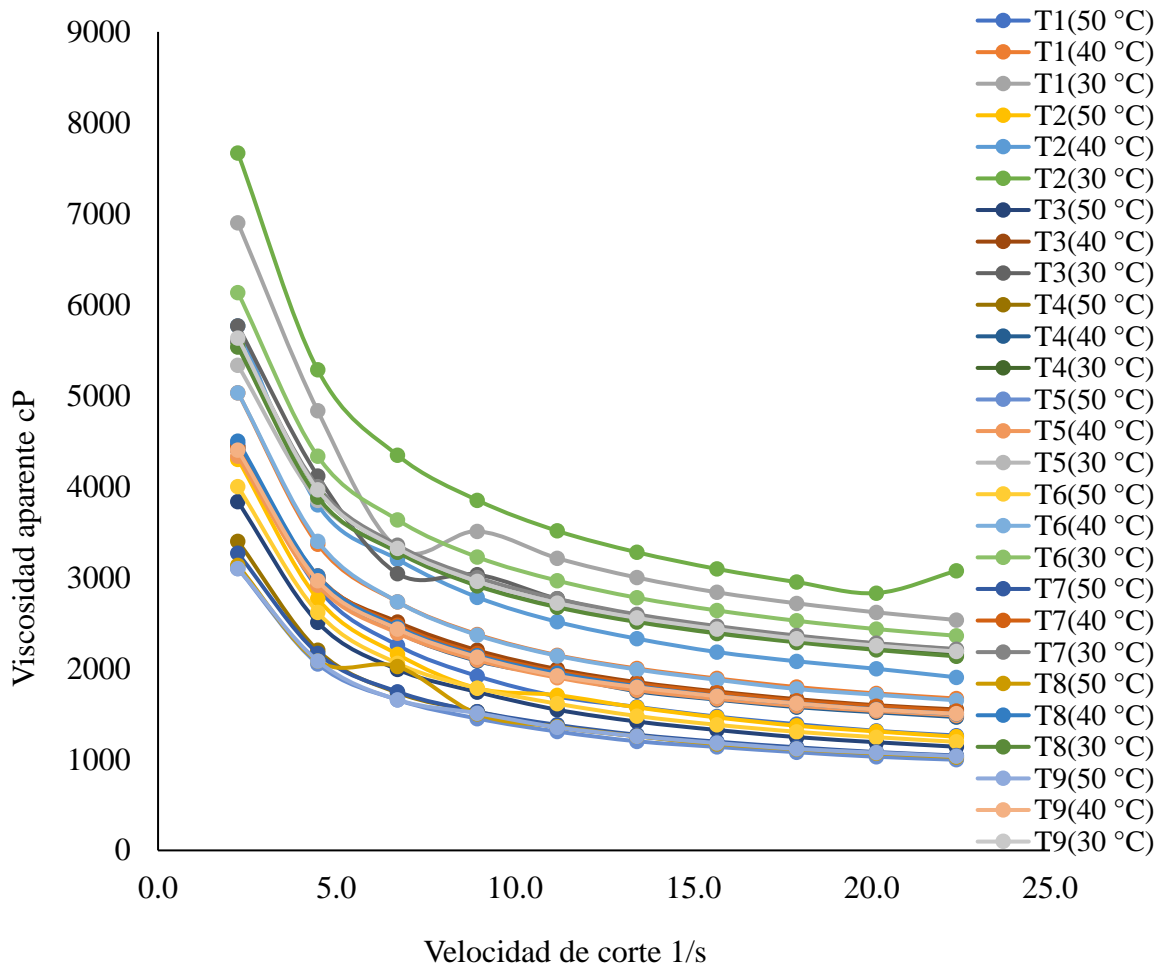


Figura 5. Reograma del comportamiento reológico del licor de cacao para los 9 tratamientos

En la Figura 5 podemos observar que la viscosidad aparente disminuye al incrementarse la velocidad de cizallamiento, según la literatura, los líquidos estructurados, como el chocolate fundido, tienen una gran resistencia al flujo a valores bajos de esfuerzo cortante, y se descomponen fácilmente en un rango relativamente estrecho de esfuerzo cortante creciente (Fernandes et al., 2013). A medida que la energía de entrada aumenta, se inicia la desintegración de los conglomerados, liberando la grasa atrapada que se desplaza hacia la superficie y altera la reología de la masa. Durante la etapa plástica, la masa experimenta un corte en un sentido y una expansión en otro sentido. Este periodo involucra cambios significativos en la reología de la masa a medida que la grasa sigue migrando hacia la superficie de los sólidos, lo que resulta en una disminución adicional de la viscosidad de la masa de chocolate semisólido (González et al., 2021). Los resultados análogos en las propiedades de

flujo del chocolate derretido se ven influenciados por las técnicas de procesamiento (refinado, conchado y templado), así como por la composición (porcentaje de grasa, cantidad y tipo de emulsionantes, distribución del tamaño de partículas). Estas propiedades no solo influyen en la efectividad de procesos como la mezcla y el bombeo, sino que también desempeñan una función crucial en diversas aplicaciones del chocolate, como el recubrimiento, la formación de cubiertas y las etapas de moldeo (Fernandes et al., 2013).

4.2.2. Índice de consistencia e índice de flujo

El estudio del comportamiento reológico de los licores de cacao comenzó con la representación del esfuerzo cortante (τ) versus la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) (Figura 6). La no linealidad en las curvas reológicas requiere la necesidad de un modelado semi empírico para dilucidar completamente el comportamiento del flujo en función de la temperatura y la tasa de deformación. El cruce inicial de las curvas de flujo enfatiza los modelos que incorporan el límite elástico a tasas de deformación muy bajas. Por lo tanto, los datos de flujo se modelan utilizando los modelos de Herschel-Bulkley y Casson, además del modelo de ley de potencia más comúnmente utilizado.

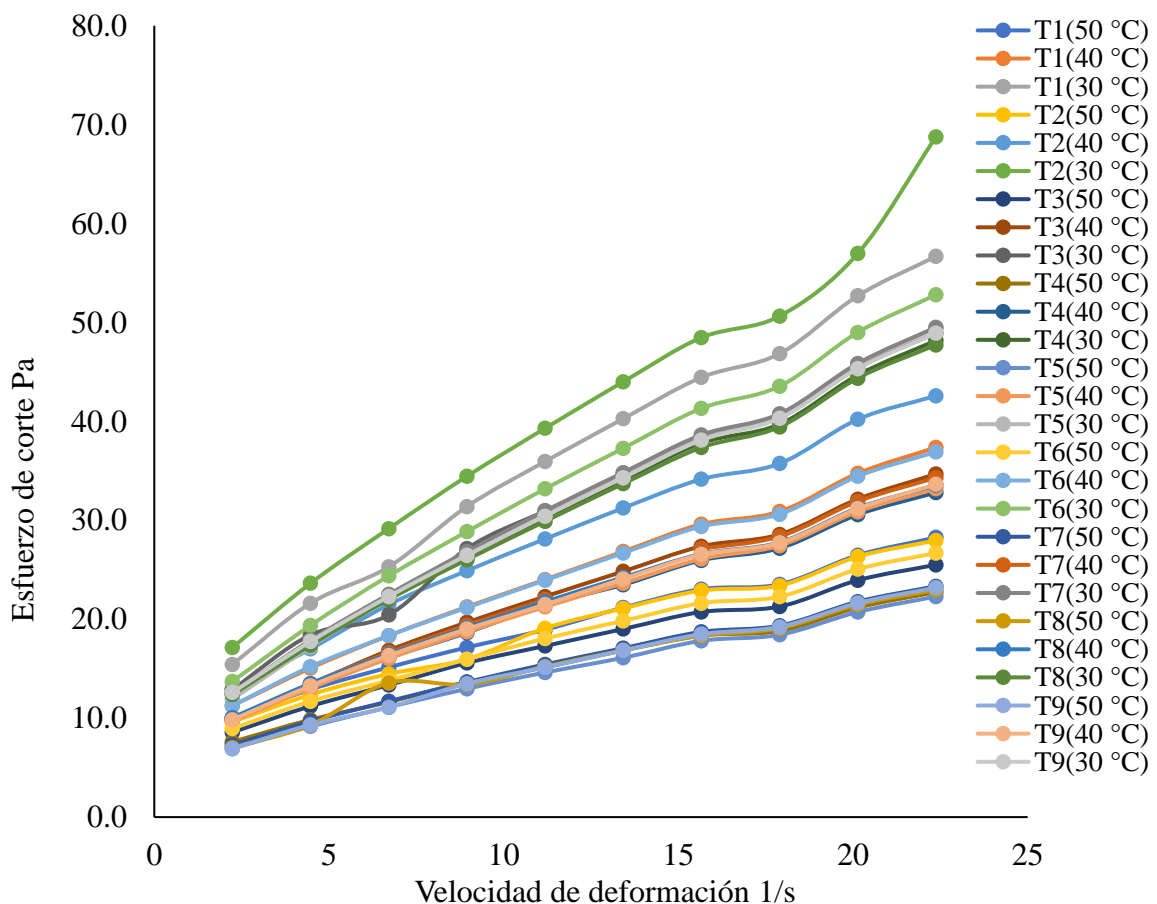


Figura 6. Comportamiento reológico del licor de cacao para los 9 tratamiento de tostado

Los datos se analizaron utilizando los modelos de tensión cortante para fluidos no newtonianos a través del modelo de ley de potencia y los resultados se presentan en la Tabla 4. Los valores del índice de flujo (n) obtenidos del ajuste del modelo estuvieron en el rango de 0,441 a 0,681 ($n < 1$), lo que indica un comportamiento del fluido pseudoplástico dependiente de la temperatura de tostado ($p < 0,05$) (Anexo-2). Estos resultados (Tabla 4) concuerdan con lo reportado por Qaiser et al. (2021).

Tabla 4. Parámetros reológicos del licor de cacao a 30 °C

Tostado		Parámetros reológicos	
Temperatura (°C)	Tiempo (min)	k (Pa.s ⁿ)	n
110	15	9,333 ± 0,161 ^{aa}	0,569 ± 0,007 ^{aa}
	20	10,408 ± 1,072 ^{aa}	0,560 ± 0,005 ^{aa}
	25	7,752 ± 0,286 ^{aa}	0,582 ± 0,004 ^{aa}
120	15	7,448 ± 0,120 ^{ba}	0,590 ± 0,006 ^{ba}
	20	6,914 ± 0,330 ^{ba}	0,623 ± 0,002 ^{ba}
	25	8,144 ± 0,378 ^{ba}	0,591 ± 0,005 ^{ba}
130	15	7,378 ± 0,383 ^{ba}	0,602 ± 0,014 ^{ba}
	20	7,305 ± 0,502 ^{ba}	0,594 ± 0,008 ^{ba}
	25	7,415 ± 0,051 ^{ba}	0,595 ± 0,004 ^{ba}

El índice de consistencia (k) disminuye ligeramente al aumentar la temperatura con contenidos de grasa constantes, como se muestra en la Tabla 4 los resultados son similares al trabajo desarrollados por Quiñones-Muñoz et al. (2011) quienes informaron el efecto de mezcla y templado sobre las propiedades reológicas y de tamaño de partículas de los recubrimientos de chocolate oscuro, también es similar a la publicación de Quispe-Chambilla et al. (2022) en su artículo Propiedades reológicas y funcionales del chocolate amargo con sustitución parcial de maní y sachá inchi, es concordante también con el reporte efectos de la composición, la temperatura y la velocidad de corte en la reología de la leche con chocolate: un enfoque de modelado empírico que incorpora el comportamiento del rendimiento (Qaiser et al., 2021). Se hace notar que no todas las temperaturas son diferentes, resaltamos que entre las temperaturas 120 y 130 °C no hay diferencias significativas ($p > 0,05$), pero ambos mostraron diferencias significativas con 110 °C (Anexo-2).

El tiempo de tostado no influye en los parámetros reológicos índice de consistencia e índice de flujo ($p > 0,05$) (Tabla 4).

Las masas de chocolate son una de las materias primas básicas para la elaboración de repostería, el conocimiento del comportamiento reológico y de fluidez a diferentes temperaturas es absolutamente necesario para la selección del proceso tecnológico adecuado en su producción y posterior procesamiento (Kumbár et al., 2021). En este trabajo de investigación también se estudió el comportamiento reológico del licor de cacao a tres temperaturas de los nueve tratamientos (Figura 7).

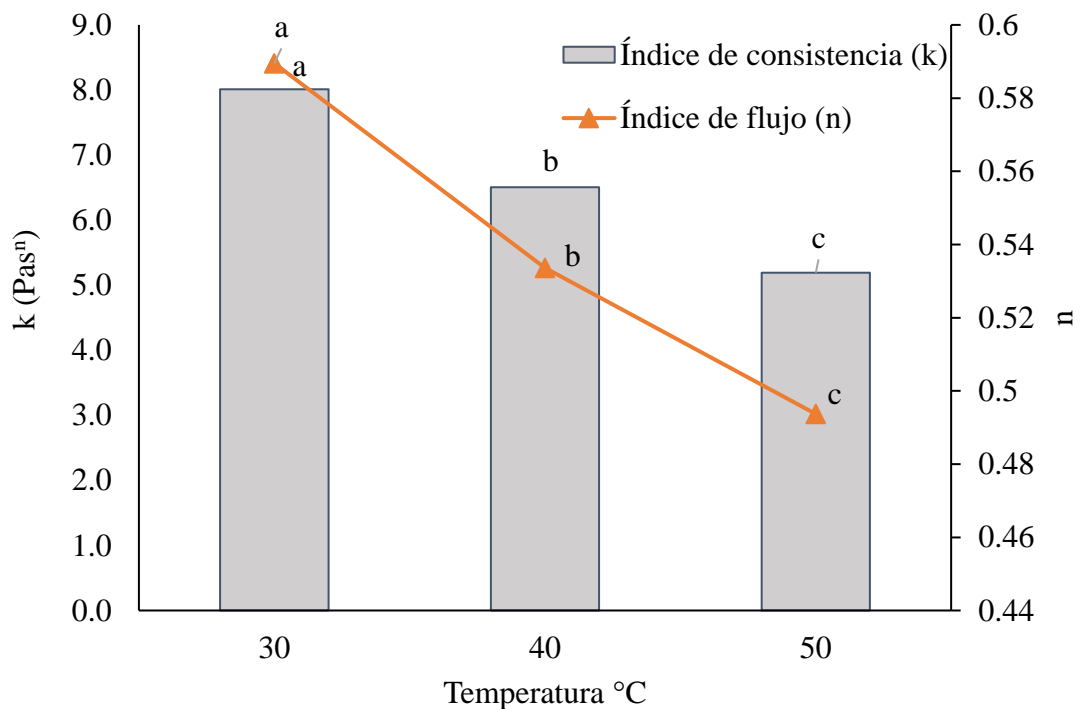


Figura 7. Comportamiento reológico del licor de cacao a diferentes temperaturas

Los índices de consistencia y comportamiento de flujo resultan ser afectados por la temperatura significativamente ($p < 0,05$), en cuanto al índice de consistencia que es una medida indirecta de la viscosidad la cual disminuye con el incremento de la temperatura y esto facilita la movilidad de las partículas (Quispe-Chambilla et al., 2022), Todos los tratamientos mostraron predominantemente un comportamiento pseudoplástico, es decir, índice de pseudoplasticidad ($n < 1$) con una fuerte influencia de la temperatura (Figura 7), se han reportado resultados similares en un estudio reológico de chocolate con leche (Qaiser et al., 2021). Este comportamiento es deseable durante el procesamiento y envasado de chocolate debido a la facilidad de la maniobrabilidad (Quispe-Chambilla et al., 2022).

La recopilación de datos de las curvas de flujo a través de la aplicación de modelos reológicos no solo permite determinar el comportamiento de la circulación de

líquidos, sino que también posibilita la utilización de los coeficientes para la modelación de las características físico-mecánicas de los líquidos, por ejemplo, durante su flujo (Žitný et al., 2015). Mediante el empleo de los coeficientes de los modelos reológicos, es viable la estimación de variables como la velocidad promedio y máxima del flujo, el flujo volumétrico y el masivo, los coeficientes de fricción en la interfaz entre la pared y el líquido, así como el número de Reynolds, el cual es útil para distinguir entre flujos laminar, transitorio y turbulento, entre otros (Kumbár et al., 2015). Por último, los resultados obtenidos al modelar el comportamiento del flujo de alimentos y materias primas para la alimentación pueden ser aplicados en la práctica convencional del diseño de equipos tecnológicos y en las actuales tendencias de la industria alimentaria, como por ejemplo, la impresión 3D de alimentos (Kumbár et al., 2021).

4.3. Evaluación sensorial

La composición química y las características sensoriales de los granos de cacao se ven influenciadas por diversos elementos. Entre ellos se encuentran la genética del cacao, las condiciones del ambiente de cultivo (como el clima, el suelo, el momento de la exposición al sol y la cantidad de lluvia) y las etapas del procesamiento posterior a la cosecha (que abarcan la maduración, la cosecha, la fermentación y el secado) (Sari et al., 2023). En estudio se incluyó la evolución de la calidad sensorial del licor de cacao obtenido a partir de granos de cacao ICS-95.

4.3.1. Escala de calidad

La función de la escala de calidad es determinar el potencial de la muestra (EEC et al., 2018). Se evaluó todas las categorías o atributos sensoriales (Anexo-3 y Figura 8), resultó que las temperaturas de tostado (110, 120 y 130 °C) no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$), en cuanto al aroma se debe señalar que la mayoría de los compuestos aromáticos volátiles se liberan durante el proceso de tostado. La cantidad de compuestos volátiles varía con la intensidad del tostado; por lo tanto, se forma una mayor cantidad al tostar a temperaturas más altas (Valle-Epquín et al., 2020), Varios estudios detallan la diversidad de estos compuestos dentro de los rangos de temperatura de 95 a 160 °C (Quelal et al., 2023). El sabor característico del chocolate está determinado por el potencial de sabor heredado genéticamente de la variedad del grano de cacao, los métodos mediante los cuales se llevan a cabo los pasos primarios del procesamiento de fermentación y secado, y las condiciones aplicadas durante la molienda, el tostado y el conchado en la fabricación del chocolate (Crafack et al., 2014), la temperatura de tostado del cacao no influye porque el rango de temperatura es relativamente baja en comparación a los procesos industriales, 140 °C durante 30 min (Marseglia et al., 2020).

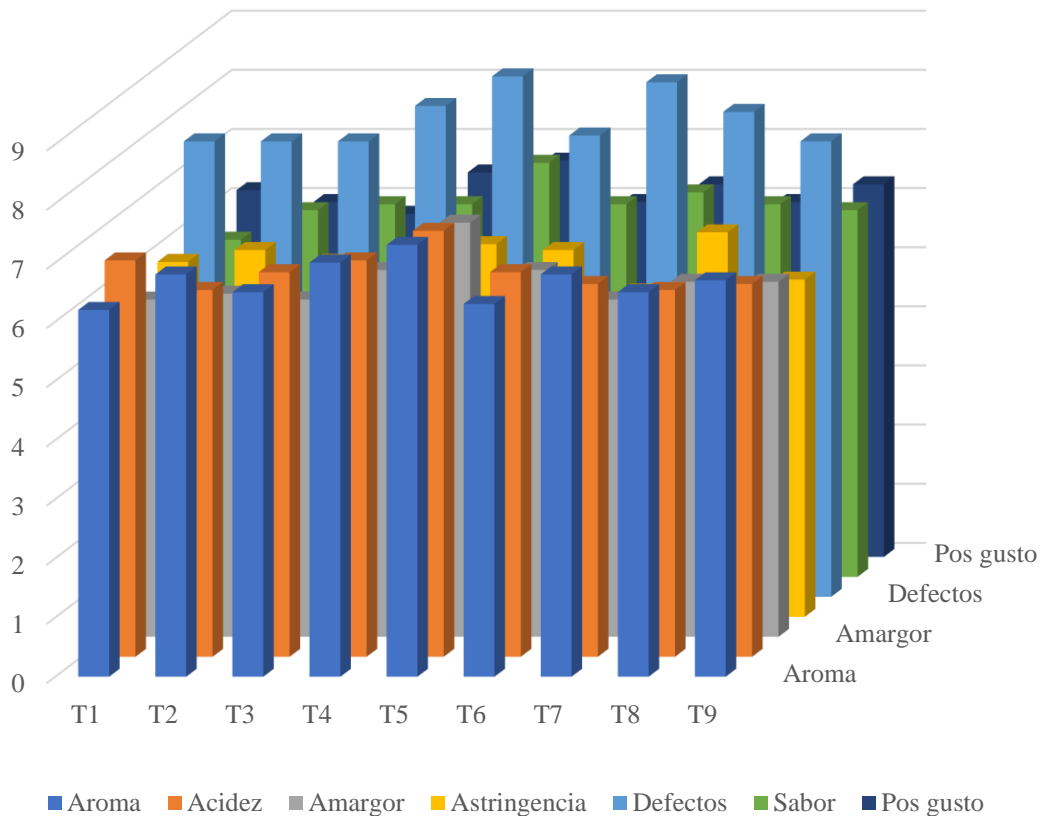


Figura 8. Evaluación sensorial según la escala de calidad a diferentes temperaturas de tostado

Se ha evaluado también la influencia del tiempo de tostado (Anexo-3 y Figura 8), los resultados demuestran que el tiempo de tostado a las temperaturas de 110, 120 y 130 °C no muestran diferencias ($p > 0,05$) en los atributos sensoriales o categorías según (EEC et al., 2018). Este hecho se puede explicar considerando que normalmente el tostado en los procesos industriales se realizan a mayor temperatura (140 °C) y mayor duración de la operación (30 min) (Marseglia et al., 2020).

4.3.2. Evaluación de la intensidad y perfiles sensoriales

El licor de cacao en la categoría de aroma demostró notas características a cacao apenas detectable en todas las temperaturas y tiempos de tostado excepto a 110 °C por 20 y 25 minutos (Figura 10). La nota de cacao la aportan las pirazinas, un producto volátil de la reacción de Maillard (Sari et al., 2023). Se ha informado 13,24% de concentración de pirazinas en granos sin tostar y 22,79% en granos tostados (Marseglia et al., 2020). A pesar de sus bajas notas de cacao, el licor de cacao se caracterizó por varios descriptores adicionales como caramelo, chocolate, cítrico, dulce, frutal, frutas secas y panela (Figura 9 y 10). Las notas de mayor intensidad fueron chocolate y panela, más de 600 compuestos volátiles componen la

mezcla compleja que caracteriza el aroma del chocolate, incluidos aldehídos, pirazinas, ácidos, alcoholes, ésteres, cetonas, furanos, pirroles, fenoles, terpenos y alcoholes terpénicos (Crafack et al., 2014).

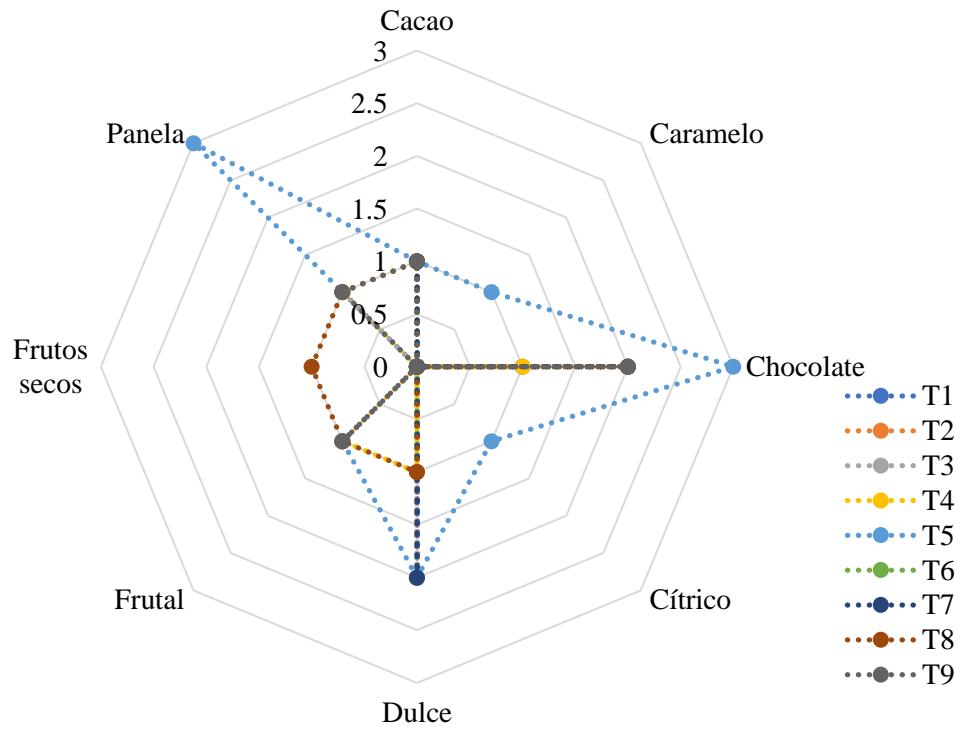


Figura 9. Perfil sensorial del aroma de licor de cacao ICS-95



Figura 10. Mapa de calor de los diferentes atributos y descriptores de cacao ICS-95

Según la Figuras 10 y 11 se detectó la presencia de acidez de naturaleza cítrica (intensidad 2) en el licor de cacao de ISC-95 en todos los tratamientos y notas de acidez de frutas apenas detectable (intensidad 1). El tostado en sí cumple dos objetivos: la eliminación de compuestos aromáticos no deseados, principalmente ácido acético y la formación de

compuestos aromáticos característicos del cacao (Frauendorfer & Schieberle, 2019), razón por la cual se percibe una acidez cítrica.

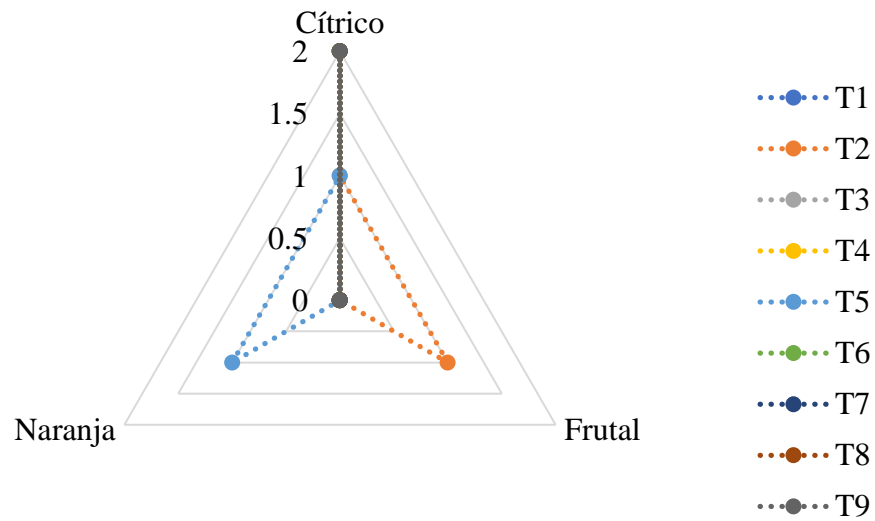


Figura 11. Perfil sensorial de la acidez de licor de cacao ICS-95

En cuanto al amargor también se impuso las notas cítricas intensidad 1 y 2 (Figuras 10 y 12) en todos los tratamientos de tostado con una intensidad apenas detectable. Se ha demostrado que la concentración de polifenoles en el licor de cacao es directamente proporcional a la intensidad del amargor (Misnawi et al., 2004).

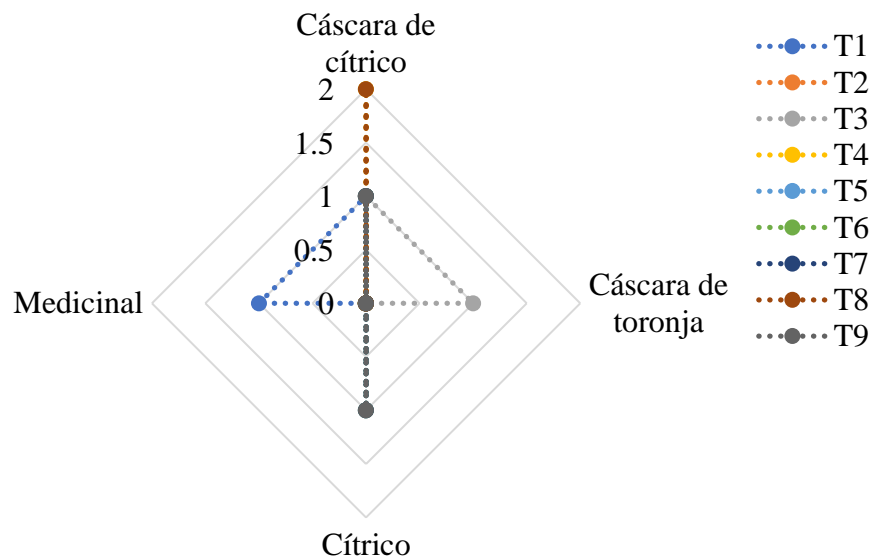


Figura 12. Perfil sensorial del amargor de licor de cacao ICS-95

En cuanto a la astringencia apenas se detectó notas cítricas cuando los granos fueron tostados a 110 y 120 °C, en el caso del tostado a 130 °C apenas fue detectado a 15 minutos de duración de la operación (Figura 10). Es importante señalar que los polifenoles responsables de la sensación astringente en los granos de cacao son principalmente catequinas (Wu et al., 2022).

Los defectos abombado y verde apenas fueron detectados cuando el cacao fue tostado a 110 °C, el defecto crudo apenas se detectó a 110 y 120 °C mientras que el sobre tostado fue apenas detectado a 130 °C (Figura 10).

El atributo sabor se caracterizó por las notas de almendra, cacao, cocoa/cacao, dulce, frutos secos, guindones, nuez y panela (Figuras 10 y 13). El sabor distintivo del chocolate se define por la calidad de sabor transmitida genéticamente por la variedad del grano de cacao, las técnicas utilizadas en las etapas iniciales de fermentación y secado, así como por las condiciones controladas durante la molienda, tostado y conchado durante la elaboración del chocolate (Crafack et al., 2014).

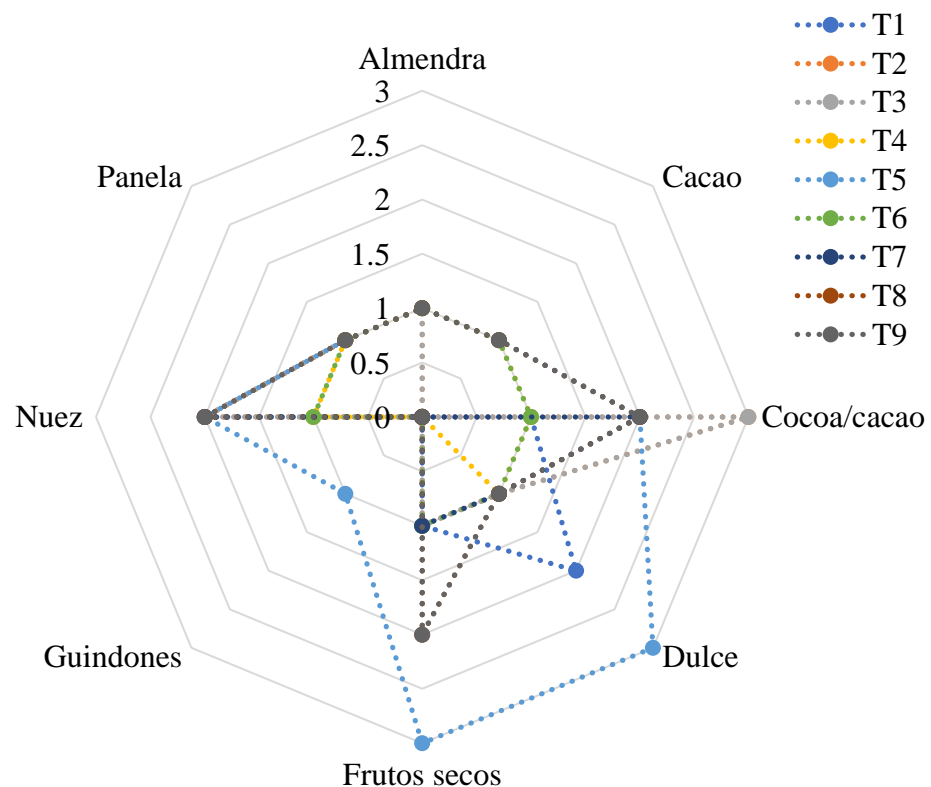


Figura 13. Perfil sensorial del sabor de licor de cacao ICS-95

Los descriptores dulces y frutos secos tuvieron mayor intensidad, seguido por cocoa/cacao y nuez; una investigación similar en granos de cacao procedentes de fermentaciones comerciales en pila y en bandeja se describieron como dulces con sabores a cacao y caramelo (Crafack et al., 2014). El cacao criollo tiene un perfil de sabor aromático con notas de nuez, terrosas y florales (Sari et al., 2023). El grupo Trinitario (un híbrido de Criollo y Forastero) demuestra una clara nota de cacao con un aroma parecido al del vino (Sari et al., 2023).

El proceso de tostado es fundamental para potenciar el sabor del cacao al favorecer la transformación de los precursores generados durante la fermentación y el secado, siendo la temperatura y la duración factores determinantes en la formación de los compuestos resultantes (Valle-Epquín et al., 2020). Además, este procedimiento contribuye a la eliminación de compuestos no deseados, aporta fragancias y sabores agradables, y proporciona a los granos de cacao una textura más crujiente (Valle-Epquín et al., 2020). Durante el tostado, los precursores de sabor generados durante la fermentación se transforman en compuestos de sabor mediante la reacción de Maillard (Marseglia et al., 2020).

4.4. Optimización del tostado

Los resultados de la optimización mediante evaluación sensorial se reportan en la Tabla 4. El aroma alcanza una calidad óptima de 7 (Bueno) cuando los granos de cacao son tostados a 121,7 °C por 19,1 minutos. En ambos factores se observa que por encima y por debajo del valor óptimo disminuye la calidad en aroma (Figura 15-A). Se ha demostrado que el mayor impacto en el aroma se da por el proceso de tostado a partir de la degradación de Strecker (Rocha et al., 2017). Los granos de cacao suelen ser sometidos a un proceso de tostado a temperaturas que oscilan entre 120 y 140 °C por un lapso de 5 a 10 minutos. Si se emplean temperaturas superiores (por encima de 150 °C) y se prolonga el tiempo de tostado, los granos de cacao pueden terminar con un aspecto "sobretostado", lo que provoca un sabor amargo similar al del café en lugar del deseado. Sin embargo, los parámetros de tostado (temperatura x tiempo) determinan la conversión precisa de los precursores (Toker et al., 2020), en ese contexto nuestros resultados son coherentes con el análisis sensorial según las Figuras 9 y 10 donde se observa que el aroma característico a chocolate presenta su mayor valoración en el tostado a 120 °C por 20 minutos.

Tabla 5. Optimización de temperatura y tiempo de tostado por atributos

Atributo	Factores	Bajo	Alto	Óptimo	Calidad óptima	
					Valor	Descripción
Aroma	Temperatura, °C	110	130	121,7	7,1 \approx 7	Bueno
	Tiempo, min	15	25	19,1		
Acidez	Temperatura, °C	110	130	118,4	6,8 \approx 7	Bueno
	Tiempo, min	15	25	15		
Amargor	Temperatura, °C	110	130	120,6	6,7 \approx 7	Bueno
	Tiempo, min	15	25	20,4		
Astringencia	Temperatura, °C	110	130	117,1	6,4 \approx 6	Bueno
	Tiempo, min	15	25	20,4		
Defectos	Temperatura, °C	110	130	125,4	8,6 \approx 7	Excelente
	Tiempo, min	15	25	16,2		
Sabor	Temperatura, °C	110	130	121,9	6,8 \approx 7	Bueno
	Tiempo, min	15	25	20,1		
Pos gusto	Temperatura, °C	110	130	120,4	6,5 \approx 7	Bueno
	Tiempo, min	15	25	15,0		
Puntaje de catador	Temperatura, °C	110	130	122,4	6,4 \approx 6	Bueno
	Tiempo, min	15	25	19,6		
Puntaje final	Temperatura, °C	110	130	122,0		
	Tiempo, min	15	25	19,1		

La acidez predominante según el mapa de calor de la Figura 10 es de naturaleza cítrica. La temperatura y tiempo óptimo de tostado fue de 118,4 °C y 15 minutos (Tabla 5) y los gráficos de superficie y contornos de respuesta para la acidez se reportan en la Figura 14-B. Es preciso señalar que al tostar los granos de cacao, la acidez disminuye al reducir la concentración de ácidos volátiles como el ácido acético, es decir, depende de las condiciones de tostado, principalmente la temperatura y el tiempo de procesamiento (Rocha et al., 2017).

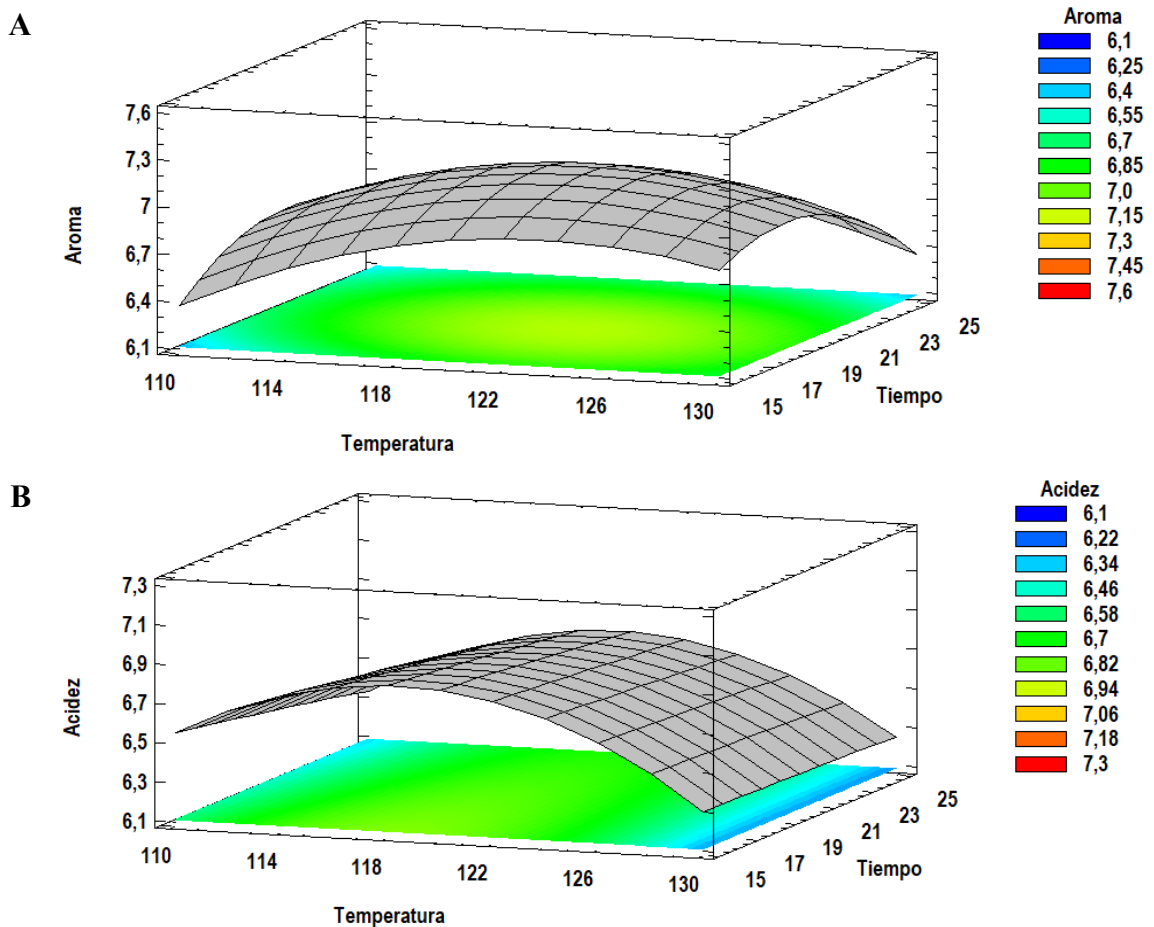


Figura 14. Superficies y contornos de respuesta para el aroma (A) y acidez (B)

Según los resultados de optimización, el tostado debe realizarse para el caso del atributo amargor a 120,6 °C por 20,4 minutos y en caso de la astringencia a 117,1 °C por 20,4 minutos (Tabla 5). Los granos de cacao en su estado natural resultan amargos y astringentes, por lo tanto, necesitan ser sometidos a un proceso para disminuir esas características y potenciar los sabores deseados. La presencia de fenólicos y metilxantinas en los granos crudos es la causa de dicha amargura y astringencia. Durante la transformación de estos granos, se han observado diversos tipos de reacciones químicas, como la condensación aldólica, polimerización, ciclación, reacción de Maillard y degradación de Strecker (Goya et al., 2022). La Figura 15 muestra claramente las superficies y contornos de respuesta para ambas categorías.

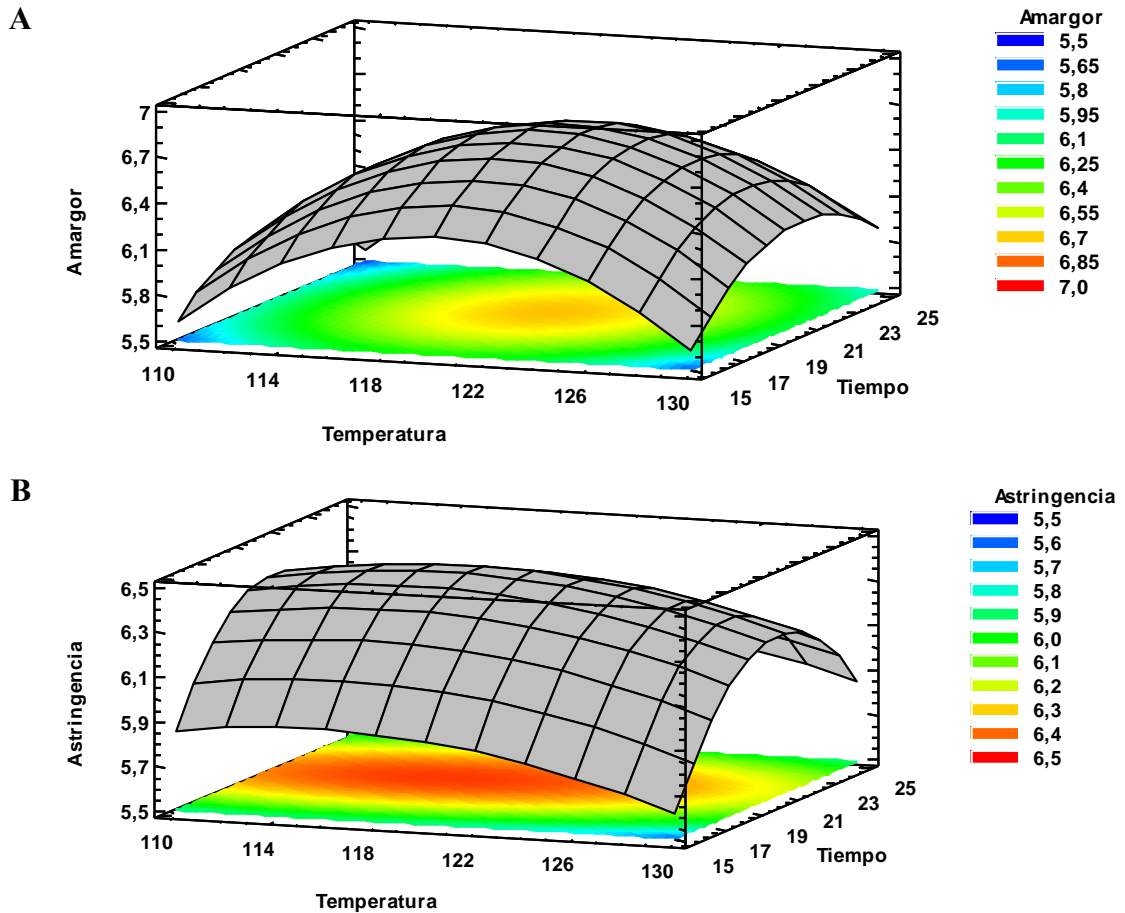


Figura 15. Superficies y contornos de respuesta para amargor (A) y astringencia (B)

Según el análisis sensorial de los defectos, en la escala de intensidad apenas fueron detectados: abombado y verde (T1), crudo (T3 y T6) y sobre tostado (T9) (ver Figura 8), además en la escala de calidad se registró un alto puntaje en la evaluación. La optimización de la temperatura y tiempo óptimo de tostado fue 125,4 °C por 25 minutos (Tabla 3), esta información puede contrastarse con la Figura 17.

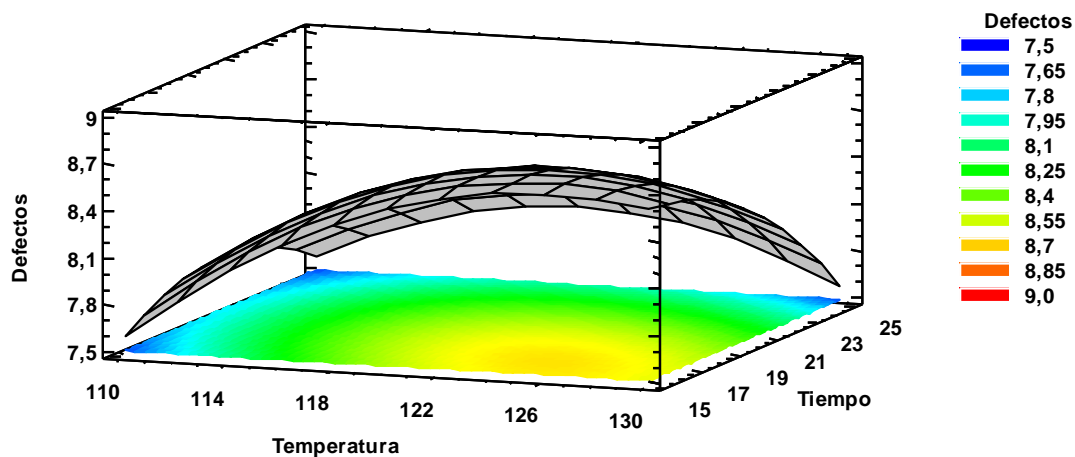


Figura 16. Superficie y contorno de respuesta para los defectos

Según la Figura 10. los descriptores apenas detectables del sabor fueron almendra, cacao, guindones y panela (intensidad 1); sabor a nuez fue un descriptor presente en todos los tratamientos excepto T4 y T6; mientras que los descriptores cocoa/cacao, frutos secos y dulce alcanzaron un sabor que caracteriza la muestra (Intensidad 3). Los resultados de optimización de tostado para el atributo sabor (Figura 17) señalan que el sabor es óptimo cuando el cacao es tostado a 121,9 °C por 20,1 minutos.

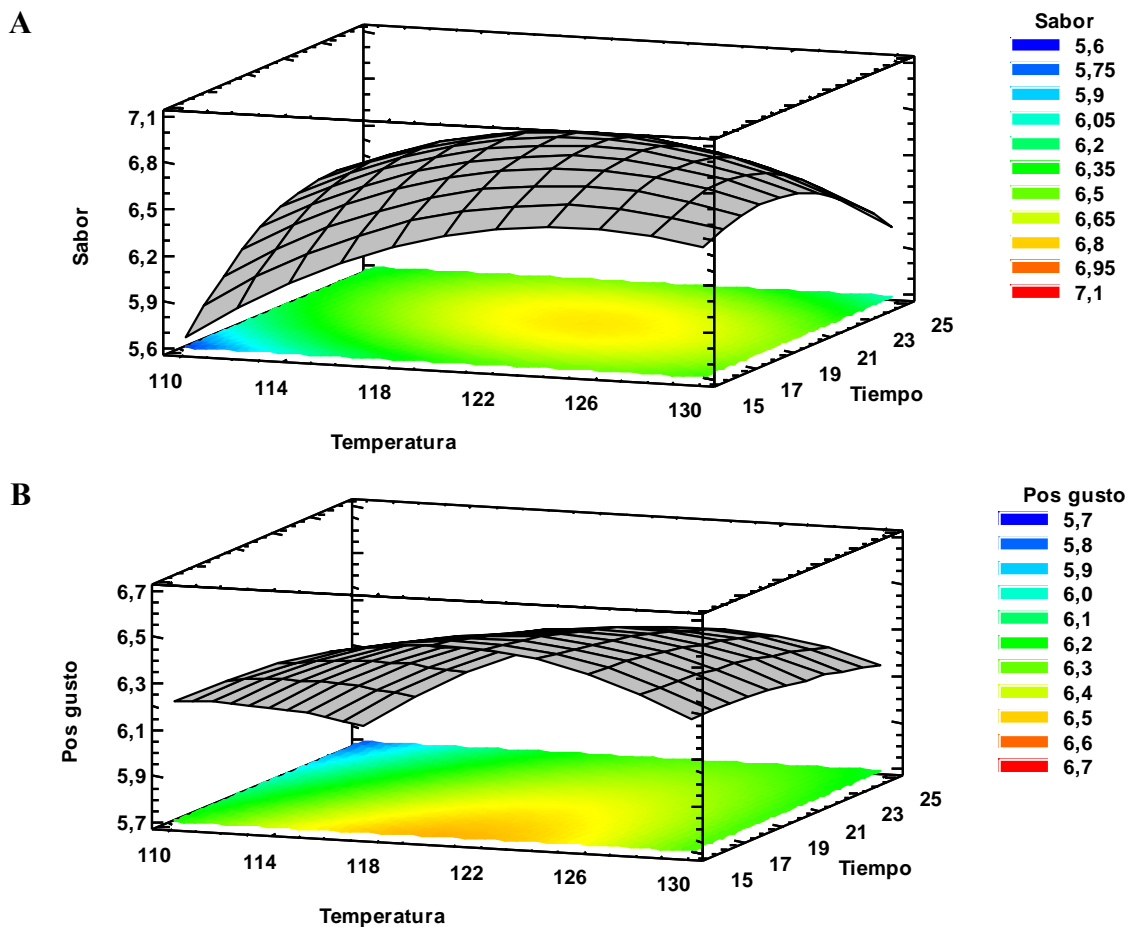


Figura 17. Superficie y contorno de respuesta para sabor (A) y pos gusto (B)

Los sabores residuales en el paladar después de degustar la muestra se conoce como pos gusto (EEC et al., 2018). En todos los tratamientos apenas fueron detectados 11 descriptores y uno esta presente en la muestra (Figura 10). La temperatura y tiempo óptimo de tostado para este atributo fue 120,4 °C por 15 minutos (Tabla 5).

Finalmente se realizó una optimización simultánea de varias respuestas (OSVR) (Pulido et al., 2012) para comparar con el puntaje final de la evaluación sensorial (Figura 18).

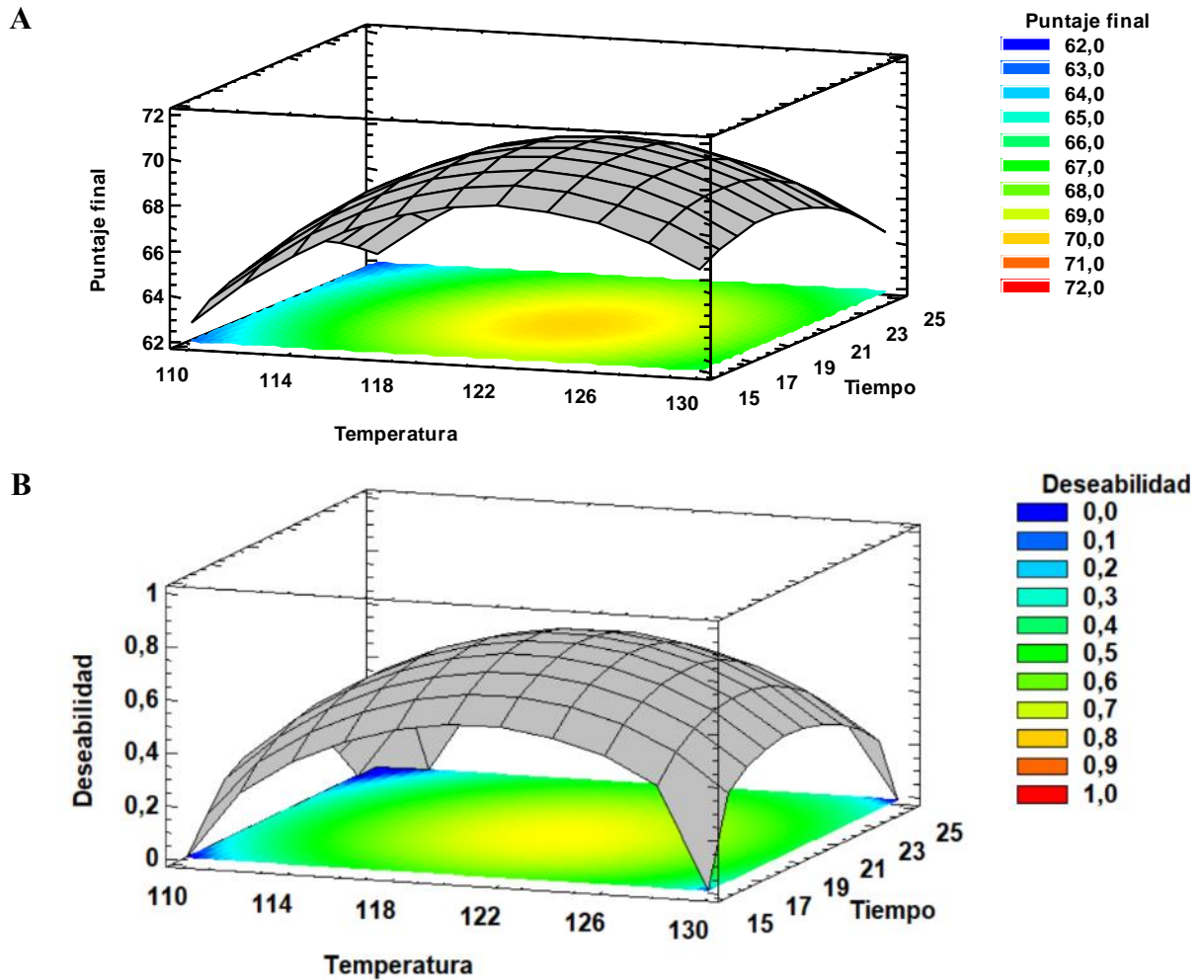


Figura 18. Superficie y contorno de respuesta para puntaje final (A) y OSVR (B)

En cuanto a la optimización del puntaje final encontramos que el tostado debe realizarse a 122 °C por 19,1 minutos, este resultado es muy similar al determinado por OSVR 121,1 °C por 19,1 minutos (Figura 18 y Tabla 6).

Tabla 6. Valores óptimos de temperatura y tiempo de tostado

Método	Valores óptimos	
	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
Puntaje final	122,0	19,1
OSVR	121,1	19,1

V. CONCLUSIONES

- Los granos de cacao ICS-95 se tostaron por convección variando la temperatura (110, 120 y 130 °C) y el tiempo (15, 20 y 25 minutos).
- El comportamiento reológico del licor de cacao ICS-95 fue la de un fluido no newtoniano pseudoplástico ($n < 1$), el índice de comportamiento de flujo (n) de todos los tratamientos estuvo en el rango de 0,441 a 0,681. El índice de consistencia disminuye con el aumento de la temperatura.
- El puntaje de la evaluación sensorial del licor de cacao ICS-95 según la escala de calidad estuvo en el rango de 6 – 8 lo cual corresponde al calificativo de bueno, mientras que en la escala de intensidad no se evidenció la presencia de algún descriptor dominante (intensidad 4) o extremo (intensidad 5), solo cinco descriptores caracterizaron la muestra (intensidad 3) y otros cinco mostraron su presencia (intensidad 2), sin embargo, la mayoría apenas fueron detectados (intensidad 1).
- La escala de calidad de la evaluación sensorial fue utilizado para realizar la optimización del tostado, mediante una optimización simultánea de varias respuestas se determinó que la temperatura óptima de tostado en las condiciones del estudio fue de 121,1 °C por 19,1 minutos, que permite resaltar la mayor cantidad de atributos del cacao ICS-95.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- De acuerdo con los estudios de tostado a la fecha para cacaos finos de aroma, podría ampliar el rango de temperatura entre 90 a 140 °C.
- Muchos factores influyen en el tostado, la humedad relativa y velocidad del aire convectivo podrían ser variables de estudio en futuras investigaciones.

VII. REFERENCIAS

- Adenuga, O. O., & Ariyo, O. J. (2020). Diversity analysis of cacao (*Theobroma Cacao*) Genotypes in Nigeria Based on Juvenile Phenotypic Plant Traits. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1348-1359. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1786487>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., & Fowler, M. (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate – a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(6), 290-298. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.02.002>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., & Fowler, M. (2008). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology*, 226(6), 1259-1268. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0652-6>
- Ahmed, J., & Basu, S. (2023). Food rheology: Scientific development and importance to the food industry. En J. Ahmed & S. Basu (Eds.), *Advances in Food Rheology and Its Applications (Second Edition)* (pp. xxi-xxvi). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823983-4.00008-X>
- Ahmed, J., Ptaszek, P., & Basu, S. (2017). Chapter 1 - Food Rheology: Scientific Development and Importance to Food Industry. En J. Ahmed, P. Ptaszek, & S. Basu (Eds.), *Advances in Food Rheology and Its Applications* (pp. 1-4). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00001-2>
- Andruszkiewicz, P. J., Corno, M., & Kuhnert, N. (2021). HPLC-MS-based design of experiments approach on cocoa roasting. *Food Chemistry*, 360, 129694. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129694>

- Aprotosoiaie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products—An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *15*(1), 73-91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- Argout, X., Salse, J., Aury, J.-M., Gultinan, M. J., Droc, G., Gouzy, J., Allegre, M., Chaparro, C., Legavre, T., Maximova, S. N., Abrouk, M., Murat, F., Fouet, O., Poulain, J., Ruiz, M., Roguet, Y., Rodier-Goud, M., Barbosa-Neto, J. F., Sabot, F., ... Lanaud, C. (2011). The genome of *Theobroma cacao*. *Nature Genetics*, *43*(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/ng.736>
- Barrientos, L. D. P., Oquendo, J. D. T., Garzón, M. A. G., & Álvarez, O. L. M. (2019). Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia. *Food Research International*, *115*, 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.084>
- Challco, C. O. R. (2019). *Influencia de la edad del patrón de cacao (Theobroma cacao L.) sobre el prendimiento de los injertos ICS-95 y Chuncho en el sector de Macamango distrito de Santa Ana – La Convención* [Tesis para obtención de título, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4442>
- Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Saelens, S., Blennow, A., Skovmand-Larsen, M., Swiegers, J. H., Petersen, G. B., Heimdal, H., & Nielsen, D. S. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, *63*, 306-316. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.032>
- de Souza, P. A., Moreira, L. F., Sarmiento, D. H. A., & da Costa, F. B. (2018). Cacao—*Theobroma cacao*. En S. Rodrigues, E. de Oliveira Silva, & E. S. de Brito (Eds.), *Exotic*

- Fruits* (pp. 69-76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00010-1>
- Di Carro, M., Ardini, F., & Magi, E. (2015). Multivariate optimization of headspace solid-phase microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry for the determination of methylpyrazines in cocoa liquors. *Microchemical Journal*, *121*, 172-177. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.03.006>
- Ebrahimzadegan, S., Asefi, N., Maleki, R., & Heris, S. S. S. (2021). Evaluation of changes in alkyl pyrazines, color and sensory properties of cocoa powder under different roasting conditions. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, *10*(2), 169-180. <https://doi.org/10.22101/jrifst.2021.279578.1238>
- EEC, USAID, & TCHO. (2018). *Guía para la Ficha de catación para Análisis Sensorial de Cacao*. https://equalexchange.coop/sites/default/files/Tasting-Guide_vF-JUNIO2018-ESP.pdf
- Escobar, S., Santander, M., Zuluaga, M., Chacón, I., Rodríguez, J., & Vaillant, F. (2021). Fine cocoa beans production: Tracking aroma precursors through a comprehensive analysis of flavor attributes formation. *Food Chemistry*, *365*, 130627. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130627>
- Fernandes, V. A., Müller, A. J., & Sandoval, A. J. (2013). Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. *Journal of Food Engineering*, *116*(1), 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.002>
- Frauendorfer, F., & Schieberle, P. (2019). Key aroma compounds in fermented Forastero cocoa beans and changes induced by roasting. *European Food Research and Technology*, *245*(9), 1907-1915. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03292-2>
- Gallery, C., Bourge, S., & Agoda-Tandjawa, G. (2024). Flow behaviors of multiple molten chocolate matrices: Appropriate curve fitting models and impact of different types of

- surfactants. *Journal of Food Engineering*, 363, 111780.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111780>
- González, C., Acosta, E. V., Mazo Rivas, J. C., & Muñoz, D. A. (2021). Phenomenological based model for the prediction of the structural changes during chocolate conching process. *Journal of Food Engineering*, 289, 110184.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110184>
- González-Orozco, C. E., Galán, A. A. S., Ramos, P. E., & Yockteng, R. (2020). Exploring the diversity and distribution of crop wild relatives of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Colombia. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(8), 2071-2085.
<https://doi.org/10.1007/s10722-020-00960-1>
- Goya, L., Kongor, J. E., & de Pascual-Teresa, S. (2022). From cocoa to chocolate: Effect of processing on flavanols and methylxanthines and their mechanisms of action. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), Article 22.
<https://doi.org/10.3390/ijms232214365>
- Gutierrez, E. A., Caetano, A. C., Hoyos, Y. R., Santos, M. G., & Espinoza, S. L. (2022). Physicochemical and organoleptic profile of the native fine aroma cocoa from northeastern area of Peru. *Food Science and Technology*, 42, e06422.
<https://doi.org/10.1590/fst.06422>
- Hernández-Rodríguez, A., Miguelez-Sierra, Y., Acebo-Guerrero, Y., Díaz de la Osa, A., & Casanova, M. A. (2023). A practical guide to isolation of fluorescent *Pseudomonas* antagonistic to *Phytophthora palmivora* (Butler) in *Theobroma cacao* L. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 127, 102061. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102061>
- Hurst, W. J., Krake, S. H., Bergmeier, S. C., Payne, M. J., Miller, K. B., & Stuart, D. A. (2011). Impact of fermentation, drying, roasting and dutch processing on flavan-3-ol

- stereochemistry in cacao beans and cocoa ingredients. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 53. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-53>
- Kadow, D., Bohlmann, J., Phillips, W., & Lieberei, R. (2013). Identification of main fine flavour components in two genotypes of the cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2013.086.013>
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L. G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007>
- Kim, J., Lee, K. W., & Lee, H. J. (2011). Chapter 42—Cocoa (*Theobroma cacao*) Seeds and Phytochemicals in Human Health. En V. R. Preedy, R. R. Watson, & V. B. Patel (Eds.), *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 351-360). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10042-8>
- Kothe, L., Zimmermann, B. F., & Galensa, R. (2013). Temperature influences epimerization and composition of flavanol monomers, dimers and trimers during cocoa bean roasting. *Food Chemistry*, 141(4), 3656-3663. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.049>
- Krysiak, W., Adamski, R., & Zyzelewicz, D. (2013). Factors Affecting the Color of Roasted Cocoa Bean. *Journal of Food Quality*, 36(1), 21-31. <https://doi.org/10.1111/jfq.12009>
- Kumbár, V., Kouřilová, V., Dufková, R., Votava, J., & Hřivna, L. (2021). Rheological and pipe flow properties of chocolate masses at different temperatures. *Foods*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods10112519>
- Kumbár, V., Strnková, J., Nedomová, Š., & Buchar, J. (2015). Fluid dynamics of liquid egg products. *Journal of Biological Physics*, 41(3), 303-311. <https://doi.org/10.1007/s10867-015-9380-5>
- Lemarcq, V., Tuenter, E., Bondarenko, A., Van de Walle, D., De Vuyst, L., Pieters, L., Sioriki, E., & Dewettinck, K. (2020). Roasting-induced changes in cocoa beans with respect to

- the mood pyramid. *Food Chemistry*, 332, 127467.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127467>
- Marseglia, A., Musci, M., Rinaldi, M., Palla, G., & Caligiani, A. (2020). Volatile fingerprint of unroasted and roasted cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from different geographical origins. *Food Research International*, 132, 109101.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109101>
- Misnawi, Jinap, S., Jamilah, B., & Nazamid, S. (2004). Sensory properties of cocoa liquor as affected by polyphenol concentration and duration of roasting. *Food Quality and Preference*, 15(5), 403-409. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(03)00097-1)
- Montes Mosquera, M. A. (2016). *Efectos del fosforo y azufre sobre el rendimiento de mazorcas, en una plantación de cacao (Theobroma cacao L.) ccn-51, en la zona de Babahoyo*. Babahoyo: UTB, 2016.
- Mounjouenpou, P., Belibi, D., Andoseh, B. K., Okouda, A., Mouanfou, K., Ehabe, E. E., & Ndjouenkeu, R. (2018). Temperature/duration couples variation of cocoa beans roasting on the quantity and quality properties of extracted cocoa butter. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.04.001>
- Nieves-Orduña, H. E., Krutovsky, K. V., & Gailing, O. (2023). Geographic distribution, conservation, and genomic resources of cacao *Theobroma cacao* L. *Crop Science*, 63(4), 1750-1778. <https://doi.org/10.1002/csc2.20959>
- Noor-Soffalina, S. S., Jinap, S., Nazamid, S., & Nazimah, S. a. H. (2009). Effect of polyphenol and pH on cocoa Maillard-related flavour precursors in a lipidic model system. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(1), 168-180.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01711.x>
- Oberlack, C., Blare, T., Zambrino, L., Bruelisauer, S., Solar, J., Villar, G., Thomas, E., & Ramírez, M. (2023). With and beyond sustainability certification: Exploring inclusive

- business and solidarity economy strategies in Peru and Switzerland. *World Development*, 165, 106187. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106187>
- Oracz, J., & Nebesny, E. (2016). Antioxidant properties of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.): Influence of cultivar and roasting conditions. *International Journal of Food Properties*, 19(6), 1242-1258. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1071840>
- Pinzón, J. G., Guerrero, J. N. Q., & Batista, R. M. G. (2020). Efectos del corte apical en semillas de cacao (*teobroma cacao* L.) ICS 95 en sustrato con biocarbón para la obtención de portainjertos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), Article 2.
- Pulido, H. G., De la Vara Salazar, R., González, P. G., Martínez, C. T., & Pérez, M. del C. T. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill New York, NY, USA:
- Qaiser, A. A., Nazar, R., Anjum, M., Saeed, A., Zeeshan, M., Tahir, B., Muzaffar, M., & Jameel, N. (2021). Effects of composition, temperature and shear rate on chocolate milk rheology: An empirical modeling approach incorporating yield behavior. *International Journal of Food Engineering*, 17(7), 561-569. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0289>
- Qaiser, A., Nazar, R., Anjum, M., Saeed, A., Zeeshan, M., Tahir, B., Muzaffar, M., & Jameel, N. (2021). Effects of composition, temperature and shear rate on chocolate milk rheology: An empirical modeling approach incorporating yield behavior. *International Journal of Food Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0289>
- Quelal, O. M., Hurtado, D. P., Benavides, A. A., Alanes, P. V., & Alanes, N. V. (2023). Key Aromatic Volatile Compounds from Roasted Cocoa Beans, Cocoa Liquor, and Chocolate. *Fermentation*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020166>
- Quiñones-Muñoz, T., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., Ochoa-Martinez, L. A., Morales-Castro, J., González-Laredo, R. F., & Medina-Torres, L. (2011). Mixing and tempering effect on the rheological and particle size properties of dark chocolate

- coatings. *CyTA - Journal of Food*, 9(2), 109-113.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2010.482748>
- Quispe-Chambilla, L., Pumacahua-Ramos, A., Choque-Quispe, D., Curro-Pérez, F., Carrión-Sánchez, H. M., Peralta-Guevara, D. E., Masco-Arriola, M. L., Palomino-Rincón, H., & Ligarda-Samanez, C. A. (2022). Rheological and functional properties of dark chocolate with partial substitution of peanuts and sacha inchi. *Foods*, 11(8), Article 8.
<https://doi.org/10.3390/foods11081142>
- Rocha, I. S., Santana, L. R. R. de, Soares, S. E., & Bispo, E. da S. (2017). Effect of the roasting temperature and time of cocoa beans on the sensory characteristics and acceptability of chocolate. *Food Science and Technology*, 37, 522-530. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.16416>
- Sacchetti, G., Ioannone, F., De Gregorio, M., Di Mattia, C., Serafini, M., & Mastrocola, D. (2016). Non enzymatic browning during cocoa roasting as affected by processing time and temperature. *Journal of Food Engineering*, 169, 44-52.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.018>
- Sari, A. B. T., Fahrurrozi, U., Marwati, T., Djaafar, T. F., Hatmi, R. U., Purwaningsih, U., Wanita, Y. P., Lisdiyanti, P., Perwitasari, U., Juanssilfero, A. B., & Rahayu, E. S. (2023). Chemical composition and sensory profiles of fermented cocoa beans obtained from various regions of Indonesia. *International Journal of Food Science*, 2023, e5639081.
<https://doi.org/10.1155/2023/5639081>
- Shah, P., Mashru, R., Rane, Y., & Badhan, A. (2008). Design and optimization of artemether microparticles for bitter taste masking. *Acta Pharmaceutica*, 58(4), 379-392.
<https://doi.org/10.2478/v10007-008-0027-y>

- Toker, O. S., Palabiyik, I., Pirouzian, H. R., Aktar, T., & Konar, N. (2020). Chocolate aroma: Factors, importance and analysis. *Trends in Food Science & Technology*, *99*, 580-592. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.035>
- Toker, O. S., Pirouzian, H. R., Palabiyik, I., & Konar, N. (2023). Chocolate flow behavior: Composition and process effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(19), 3788-3802. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1993782>
- Valle-Epquín, M. G., Balcázar-Zumaeta, C. R., Auquiñivín-Silva, E. A., Fernández-Jeri, A. B., Idrogo-Vásquez, G., Castro-Alayo, E. M., Valle-Epquín, M. G., Balcázar-Zumaeta, C. R., Auquiñivín-Silva, E. A., Fernández-Jeri, A. B., Idrogo-Vásquez, G., & Castro-Alayo, E. M. (2020). The roasting process and place of cultivation influence the volatile fingerprint of Criollo cacao from Amazonas, Peru. *Scientia Agropecuaria*, *11*(4), 599-610. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.16>
- Wang, Y., & Selomulya, C. (2022). Food rheology applications of large amplitude oscillation shear (LAOS). *Trends in Food Science & Technology*, *127*, 221-244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.05.018>
- Wu, W., Zhu, Q., Wang, W., Grierson, D., & Yin, X. (2022). Molecular basis of the formation and removal of fruit astringency. *Food Chemistry*, *372*, 131234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131234>
- Yang, X., & Boyle, R. A. (2016). Chapter 3—Sensory evaluation of oils/fats and oil/fat-based foods. En M. Hu & C. Jacobsen (Eds.), *Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats* (pp. 157-185). AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00003-3>
- Žitný, R., Landfeld, A., Skočilas, J., Stancl, J., Flegl, V., Zachariášová, M., Jírů, M., & Houška, M. (2015). Hydraulic characteristic of collagen. *Czech Journal of Food Sciences*, *33* (2015)(No. 5), 479-485. <https://doi.org/10.17221/62/2015-CJFS>

Żyżelewicz, D., Krysiak, W., Budryn, G., Oracz, J., & Nebesny, E. (2014). Tocopherols in cocoa butter obtained from cocoa bean roasted in different forms and under various process parameters. *2nd Conference on Coffee Cocoa and Tea Science (CoCoTea2013)*, 63, 390-399. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.027>

Żyżelewicz, D., Krysiak, W., Oracz, J., Sosnowska, D., Budryn, G., & Nebesny, E. (2016). The influence of the roasting process conditions on the polyphenol content in cocoa beans, nibs and chocolates. *Food Research International*, 89, 918-929. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.026>

ANEXOS

Anexo-1: Guía para la Ficha de Análisis Sensorial de Cacao



ANÁLISIS SENSORIAL DE CACAO
Ficha de Catación

MUESTRA _____

CATADOR _____

FECHA _____

CATEGORIAS		INTENSIDAD	DESCRIPTORES	CALIDAD (0-10)	PUNTAJE
Aroma					x1 =
Acidez					x1 =
Amargor	INTENSIDAD 0 a 2.5: ≥ 5 en calidad 2.5 a 5: < 5 en calidad				x1 =
Astringencia					x1 =
Defectos					x2 =
Sabor	Cocoa/Cacao				x2 =
	Dulce				
	Nuez				
	Frutas secas				
	Frutas frescas				
	Floral				
	Espicias				
	Otros				
Pos gusto					x1 =
COMENTARIOS:			PUNTOS DE CATADOR		x1 =
PUNTAJE FINAL					

ESCALA DE INTENSIDAD

0	1	2	3	4	5
Ausente	Apenas detectable	Presente	Caracteriza la muestra	Dominante	Extremo

ESCALA DE CALIDAD

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pésimo	Malo		Regular		Bueno		Excelente			

TIPS PARA EVALUAR CALIDAD EN DEFECTOS

Nombrar el defecto:
Una reducción de puntos en calidad debe ser justificado en Descriptores.

Relación inversa:
Entre más intenso el sabor defectuoso, se reduce el puntaje en calidad.

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual. No se permite un uso comercial de la obra ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Proyecto de Desarrollo de Cooperativas USAID- Equal Exchange TCHO, Versión 2017.

Anexo-2: Determinación de parámetros reológicos del licor de cacao

Análisis de Varianza para índice de consistencia a 30 °C

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	18,0451	2	9,02257	42,22	0,0000
B: Tiempo	0,889069	2	0,444534	2,08	0,1539
INTERACCIONES					
AB	12,122	4	3,03049	14,18	0,0000
RESIDUOS	3,84691	18	0,213717		
TOTAL (CORREGIDO)	34,9031	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para índice de consistencia por Temperatura

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
130	9	7,366	0,154099	X
120	9	7,50191	0,154099	X
110	9	9,16418	0,154099	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
110 - 120	*	1,66227	0,556451
110 - 130	*	1,79818	0,556451
120 - 130		0,135911	0,556451

* indica una diferencia significativa.

Análisis de Varianza para índice de flujo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	0,0051434	2	0,0025717	48,93	0,0000
B: Tiempo	0,000130267	2	0,0000651337	1,24	0,3132
INTERACCIONES					
AB	0,00296887	4	0,000742217	14,12	0,0000
RESIDUOS	0,000946047	18	0,0000525581		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00918858	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para índice de flujo por Temperatura

Método: 95,0 porcentaje LSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
110	9	0,570156	0,00241657	X
130	9	0,597067	0,00241657	X
120	9	0,601333	0,00241657	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
110 - 120	*	-0,0311778	0,00718
110 - 130	*	-0,0269111	0,00718
120 - 130		0,00426667	0,00718

* indica una diferencia significativa.

Anexo-3: Evaluación sensorial

Análisis de Varianza para Aroma - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	1,37037	2	0,685185	0,92	0,4057
B:Tiempo	1,37037	2	0,685185	0,92	0,4057
INTERACCIONES					
AB	3,40741	4	0,851852	1,14	0,3480
RESIDUOS	33,5	45	0,744444		
TOTAL (CORREGIDO)	39,6481	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Análisis de Varianza para Acidez - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	2,33333	2	1,16667	1,17	0,3193
B:Tiempo	0,111111	2	0,0555556	0,06	0,9458
INTERACCIONES					
AB	2,22222	4	0,555556	0,56	0,6945
RESIDUOS	44,8333	45	0,996296		
TOTAL (CORREGIDO)	49,5	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Análisis de Varianza para Amargor - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	5,14815	2	2,57407	2,73	0,0763
B:Tiempo	1,92593	2	0,962963	1,02	0,3689
INTERACCIONES					
AB	1,40741	4	0,351852	0,37	0,8270
RESIDUOS	42,5	45	0,944444		
TOTAL (CORREGIDO)	50,9815	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Análisis de Varianza para Astringencia - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	0,481481	2	0,240741	0,28	0,7542
B:Tiempo	2,92593	2	1,46296	1,72	0,1898
INTERACCIONES					
AB	1,40741	4	0,351852	0,41	0,7970
RESIDUOS	38,1667	45	0,848148		
TOTAL (CORREGIDO)	42,9815	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Análisis de Varianza para Defectos - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	4,33333	2	2,16667	1,01	0,3722
B:Tiempo	3,0	2	1,5	0,70	0,5022
INTERACCIONES					
AB	3,0	4	0,75	0,35	0,8428
RESIDUOS	96,5	45	2,14444		
TOTAL (CORREGIDO)	106,833	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Análisis de Varianza para Sabor - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	2,25926	2	1,12963	0,98	0,3829
B:Tiempo	1,03704	2	0,518519	0,45	0,6404
INTERACCIONES					
AB	2,51852	4	0,62963	0,55	0,7024
RESIDUOS	51,8333	45	1,15185		
TOTAL (CORREGIDO)	57,6481	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Análisis de Varianza para Pos gusto - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	1,37037	2	0,685185	0,83	0,4428
B:Tiempo	0,703704	2	0,351852	0,43	0,6557
INTERACCIONES					
AB	1,51852	4	0,37963	0,46	0,7649
RESIDUOS	37,1667	45	0,825926		
TOTAL (CORREGIDO)	40,7593	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Análisis de Varianza para Puntos de catador - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	1,03704	2	0,518519	0,62	0,5428
B:Tiempo	0,259259	2	0,12963	0,15	0,8570
INTERACCIONES					
AB	1,18519	4	0,296296	0,35	0,8399
RESIDUOS	37,6667	45	0,837037		
TOTAL (CORREGIDO)	40,1481	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo-4: Panel fotográfico
Cosecha de cacao



Fermentación y secado



Codificación y detección de humedad



Tostado



Descascarillado



Molienda



Análisis sensorial



Análisis reológico

