

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



**INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE TOSTADO DE LOS GRANOS**  
**DE CACAO EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS, SENSORIALES Y**  
**COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL LICOR DE CACAO**

**Tesis**

Para optar el título de:

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentado por:

**RAIMO VALLES CARDENAS**

Tingo María – Perú

2025



*"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"*

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 008-2025**

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 24 de julio del 2025, a horas 10:00 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. **RAIMO VALLES CARDENAS**, titulada:

### **"INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE CACAO EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS, SENSORIALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL LICOR DE CACAO"**

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran ... *A. PROBADO* ... con el calificativo de ... *MUY BUENO* ...; en consecuencia, el 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, 24 de julio del 2025

  
Dr. Alfredo Abelardo Carmona Ruiz  
Presidente

  
Dra. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo  
Miembro

  
Dra. Luz Milagros Follegatti Romero  
Miembro

  
M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas  
Asesor

  
M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda  
Asesor



UNAS

VICERRECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE  
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE  
CIENTÍFICO  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”  
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 384 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico 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:


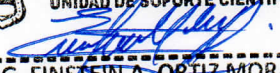
Ingeniería en Industrias Alimentarias

### Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional
-------	---	------------------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE CACAO EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS, SENSORIALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL LICOR DE CACAO	RAIMO VALLES CARDENAS	07 % Siete	Menor a 20 %

Tingo María, 20 de noviembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

## VICERRECTORADO DE INVESTIGACION DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

### REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Facultad** : Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias  
**Escuela Profesional** : Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias  
**Título de Tesis** : Incidencia de la temperatura y tiempo de tostado de los granos de cacao en las propiedades reológicas, sensoriales y compuestos bioactivos del licor de cacao  
**Objetivo General** : Evaluar la incidencia de la temperatura y tiempo de tostado de los granos de cacao en las propiedades reológicas, sensoriales y compuestos bioactivos del licor de cacao  
  
**Autor de la Tesis** : Valles Cardenas, Raimo  
**DNI** : 70752228  
**Correo Electrónico** : raimo.valles@unas.edu.pe  
**Asesores de Tesis** : 1. M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas  
: 2. M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda  
**Área de Investigación** : Ciencia de Alimentos  
**Grupo de Investigación** : Ingeniería de alimentos - IA  
**Línea de Investigación** : Ingeniería de alimentos  
**Lugar de Ejecución** : Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Fecha de inicio** : Agosto 2023  
**Fecha de termino** : Enero 2025  
**Presupuesto** : S/. 12 800.00  
**Financiamiento** : Propio ( X ) FEDU ( ) Externo ( )

M.Sc. Humberto Hugo  
Rivera Rojas  
Asesor

M.Sc. Hans Joan Tafur  
Pereda  
Asesor

Bach. Raimo Valles  
Cardenas  
Tesisista

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por darme fuerza, sabiduría, perseverancia y guiarme en cada decisión, para sostenerme con firmeza en este paso importante en mi vida profesional.*

*A mis padres, Raimo Valles Valles y Laudith Cárdenas de Valles por su amor incansable, por enseñarme el valor del esfuerzo, humildad y sacrificio, y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.*

*A mis hermanos Laudith Valles Cárdenas, Abraham Valles Cárdenas, Lisbeth Valles Cárdenas Valles por su apoyo y sus consejos durante este recorrido académico.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera especial a la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias por brindarme la formación académica y profesional que hoy me permite culminar esta etapa profesional.

A mis asesores M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas y M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda e Ing. Juan Imán Díaz, por su guía, paciencia y conocimientos compartidos que a permito el desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Cooperativa Alto Huallaga, por el apoyo y el acceso a los recursos necesarios para la ejecución del proyecto.

A mis docentes, compañeros y a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proceso, gracias por su apoyo y contribuciones.

Finalmente, gracias a mí mismo, por no rendirme, por confiar en mis capacidades y por seguir adelante a pesar de las dificultades. Este logro es un recordatorio de que todo esfuerzo tiene su recompensa.

## ÍNDICE

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Antecedentes.....	2
2.2. Cacao .....	3
2.2.1. Origen .....	3
2.2.2. Clasificación taxonómica .....	3
2.2.3. Variedades o genotipos de cacao .....	4
2.2.3. Procesamiento del cacao .....	5
2.2.4. Importancia económica y social .....	7
2.2.5. Propiedades nutricionales y beneficios para la salud .....	8
2.2.6. Composición química.....	8
2.2.7. Licor de cacao .....	9
2.3. Compuestos bioactivos.....	11
2.3.1. Polifenoles .....	11
2.3.2. Antocianinas .....	12
2.4. Capacidad antioxidante.....	12
2.5. Análisis sensorial.....	13
2.6. Reología de alimentos .....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Lugar de ejecución.....	15
3.2. Materia prima .....	15
3.3. Metodología experimental.....	15
3.3.1. Obtención del licor de los granos de cacao .....	15
3.3.2. Determinación de los compuestos bioactivos.....	17
3.3.3. Determinación de los parámetros reológicos.....	18

3.3.4. Evaluación sensorial.....	19
3.3.5. Optimización por superficie respuesta .....	20
3.4. Análisis estadístico .....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Compuestos bioactivos en el licor de cacao .....	22
4.1.1. Polifenoles totales.....	22
4.1.2. Antocianinas .....	24
4.1.3. Capacidad antioxidante .....	25
4.2. Parámetros reológicos del licor de cacao .....	27
4.3. Características sensoriales del licor de cacao .....	30
4.4. Parámetros óptimos para el tostado de cacao .....	31
V. CONCLUSIONES.....	37
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	38
VII. REFERENCIAS.....	39
ANEXOS.....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Composición química de los granos de cacao frescos y secos .....	9
2. Diseño de composición central para la etapa del tostado de los granos de cacao .....	21
3. Polifenoles totales en el licor de cacao según la temperatura y tiempo de tostado. ....	22
4. Contenido de antocianinas totales en el licor de cacao .....	24
5. Capacidad antioxidante del licor de cacao según la temperatura y tiempo de tostado .....	26
6. Parámetros reológicos del modelo Casson de las muestras de licor de cacao .....	29
7. Análisis sensorial del licor de cacao .....	31
8. Modelos matemáticos cuadráticos para predecir los compuestos bioactivos, propiedades reológicas y sensoriales .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Flujograma para la obtención de licor de cacao .....	16
2. Polifenoles totales del licor de cacao obtenidos en diferentes tratamientos de tostado.....	23
3. Antocianinas totales del licor de cacao.....	25
4. Capacidad antioxidante del licor de cacao .....	26
5. Correlación entre el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante .....	27
6. Caracterización reológica del licor de cacao .....	28
7. Esfuerzo cortante en función de la velocidad de corte en licor de cacao .....	29
8. Optimización de polifenoles totales (a) Diagrama de Pareto estandarizado, (b) Tendencia de la superficie de respuesta estimada.....	34
9. Optimización de la capacidad antioxidante (a) Diagrama de Pareto estandarizado, (b) Tendencia de la superficie de respuesta estimada.....	35

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de tostado de los granos de cacao sobre las propiedades reológicas, sensoriales y los compuestos bioactivos del licor resultante. Se empleó un diseño de composición central, y en cada experimento se determinaron los compuestos bioactivos, la capacidad antioxidante y las propiedades reológicas y sensoriales. Los parámetros óptimos de tostado se establecieron mediante la metodología de superficie de respuesta. Los resultados revelaron diferencias significativas entre algunos tratamientos; sin embargo, no fue posible identificar una tendencia clara en cuanto al contenido de polifenoles, antocianinas, capacidad antioxidante, propiedades reológicas o atributos sensoriales dentro del rango de temperaturas y tiempos de tostado evaluado. Los modelos matemáticos cuadráticos ajustados mostraron un buen ajuste a los datos y resultaron significativos para el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante. No obstante, estos modelos no permitieron optimizar el contenido fenólico, debido a que el rango de variación de los factores (temperatura y tiempo de tostado) fue demasiado estrecho.

**Palabras Clave:** *Theobroma cacao*, cacao, calidad organoléptica, defectos de sabor, jugosidad

## ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the effect that the temperature and roasting time for cacao beans had on the rheological, sensory and bioactive compound properties of the resulting liquor. A central composition design was used, and for each experiment the bioactive compounds, antioxidant capacity and rheological and sensory properties were determined. The optimal parameters for roasting were established using the surface response methodology. The results revealed significant differences between some treatments; however, it was not possible to identify a clear tendency with respect to the polyphenol content, anthocyanins, antioxidant capacity, rheological properties, nor the sensory attributes within the range of temperatures and the roasting times evaluated. The adjusted quadratic mathematical models showed a good fit with the data and turned out to be significant for the polyphenol content and the antioxidant capacity. Notwithstanding, these models did not allow for the optimization of the phenol content, due to the fact that the range for the variation of the factors was too narrow (temperature and roasting time).

**Keywords:** *Theobroma cacao*, cacao, organoleptic quality, flavor defects, juiciness

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica y cultural a nivel mundial, no solo por su uso en la industria chocolatera, sino también por su valor nutricional y su contenido de compuestos bioactivos con potenciales beneficios para la salud. Durante el procesamiento postcosecha, el tostado de los granos de cacao es una etapa crítica que influye directamente en las características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales del licor de cacao, así como en la preservación o degradación de sus compuestos bioactivos (Singh et al., 2024).

La temperatura y el tiempo de tostado modifican la estructura química del grano, afectando la viscosidad, el comportamiento reológico y la textura del licor de cacao. Además, estos parámetros inciden en la formación de precursores de aroma y sabor, así como en la degradación de polifenoles, flavonoides y otros antioxidantes presentes en el cacao. Por ello, optimizar las condiciones de tostado es fundamental para garantizar un producto con propiedades sensoriales atractivas, una adecuada fluidez para su procesamiento industrial y un perfil nutracéutico relevante.

Esta investigación busca evaluar el impacto de la temperatura y el tiempo de tostado en las propiedades reológicas, sensoriales y en la concentración de compuestos bioactivos del licor de cacao, con el fin de establecer condiciones óptimas que equilibren calidad, funcionalidad y aceptabilidad. Los resultados contribuirán al desarrollo de productos derivados del cacao con valor agregado, tanto para la industria alimentaria como para el mercado de alimentos funcionales.

El objetivo general de la investigación fue evaluar la incidencia de la temperatura y tiempo de tostado de los granos de cacao en las propiedades reológicas, sensoriales y compuestos bioactivos del licor de cacao. Y los objetivos específicos:

- Evaluar la incidencia de la temperatura y tiempo de tostado de los granos de cacao sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del licor de cacao.
- Evaluar la incidencia de la temperatura y tiempo de tostado de los granos de cacao sobre las propiedades reológicas y sensoriales del licor de cacao.
- Obtener modelos matemáticos para predecir las propiedades bioactivas, reológicas y sensoriales del licor de cacao en función de la temperatura y tiempo de tostado de los granos de cacao.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

En la industria del cacao, el tostado es esencial para liberar los sabores y aromas que gustan a los consumidores. Este proceso puede realizarse mediante convección y/o conducción, y puede afectar el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de los nibs de cacao. La investigación buscó optimizar la temperatura (100, 120 y 140 °C) y el tiempo (10, 20 y 30 min) en el tostado utilizando dos tipos de tostadores. Se encontraron temperaturas y tiempos óptimos de 130 °C durante 11 min para el tostador de bandeja y 127 °C durante 11 min para el tostador rotatorio, sin diferencias significativas entre ambos métodos en el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante (Hurtado-Soria et al., 2025).

Se estudió la cinética de pardeamiento no enzimático a 125, 135 y 145 °C durante el tostado de granos de cacao, buscando un contenido de humedad final de 2g/100g. La luminosidad del color y el ángulo de tonalidad disminuyeron con el tiempo de tostado, siguiendo diferentes cinéticas. Los procesos de tostado a alta temperatura y tiempo corto (HTST) redujeron el oscurecimiento. Las melanoidinas aumentaron con el tiempo y los procesos HTST también maximizaron su formación. La energía de activación para las melanoidinas fue mayor que para los cambios de color. El hidroximetilfurfural (HMF) aumentó con el tiempo de tostado, pero su concentración final fue baja. Los procesos HTST minimizaron la formación de HMF (Sacchetti et al., 2016).

El tostado de los granos es un paso esencial que provoca transformaciones. Sin embargo, también afecta algunos ingredientes valiosos como la manteca de cacao. Se analizó cómo las condiciones de tostado, como la temperatura, humedad y velocidad del aire, influyen en los ácidos grasos y otros componentes de la manteca. Se recomienda tostar a 150 °C, con 1 m/s de aire y 5% de humedad. El tostado no cambió mucho el contenido de ácidos grasos (Żyżelewicz et al., 2014).

Se analizaron los granos de cacao de Malasia tostados en diferentes condiciones de tiempo y temperatura para evaluar la producción de compuestos de sabor. Los granos se tostaron a temperaturas de 120 a 170 °C durante 20 a 50 minutos, y se realizó un análisis sensorial del chocolate negro resultante. Se utilizaron técnicas de destilación y cromatografía para identificar compuestos volátiles, encontrando 19 componentes clave, incluidos diferentes tipos de pirazinas, aldehídos, metilcetona, alcoholes y ésteres. Se observó que a 160 °C durante 30 minutos se lograron las mejores características de sabor. Sin embargo, la evaluación sensorial indicó que la mejor temperatura de tostado era de 150 °C por 30 minutos, ya que

resultó en una astringencia y sabores amargos más bajos, así como sabores agrios y quemados reducidos. A esta temperatura se alcanzó el nivel óptimo del sabor a cacao. Los coeficientes de correlación entre los compuestos volátiles (Ramli et al., 2006).

Se investigaron las propiedades sensoriales del licor de cacao tostado a 120 °C por diferentes períodos y concentraciones de polifenoles. Ocho panelistas capacitados realizaron análisis sensorial con un licor de referencia. Los atributos evaluados incluyeron sabor, astringencia, amargor y otros. Los resultados indicaron que, al aumentar la concentración de polifenoles, el sabor y la viscosidad disminuían, mientras que astringencia y amargor aumentaban, aunque otros atributos permanecían sin cambios. Además, el tiempo de tostado afectó negativamente el sabor del licor con 170 g/kg de polifenol, contrariamente a los otros niveles de concentración (Misnawi et al., 2004).

## 2.2. Cacao

### 2.2.1. Origen

El cacao es una especie nativa de América Central y del Sur, y sus granos sirven como materia prima para diversos productos consumidos globalmente (Motamayor et al., 2002). Miembro de la familia Malvaceae, el cacao es un árbol colifloro que produce grandes vainas con 20 a 60 semillas incrustadas en una pulpa densa. Los árboles de cacao se encuentran comúnmente en bosques tropicales, con su centro de origen en la región alta del Amazonas, en el noroeste de Sudamérica. Existe una notable diversidad genética en Perú, Ecuador, Brasil y Colombia (García et al., 2025).

### 2.2.2. Clasificación taxonómica

*Theobroma* es de origen exclusivamente neotropical y su dispersión natural se encuentra en las selvas tropicales de tierras bajas que se extienden desde la cuenca del Amazonas hasta el sur de México y su clasificación taxonómica se detalla a continuación (Pathmanathan, 2018).

Dominio	: Eucariota
Reino	: Plantae
Subreino	: Tracheobionta (Plantas vasculares)
Superdivisión	: Spermatophyta (Plantas con semillas)
División	: Magnoliophyta (Planta con flores)
Clase	: Magnoliopsida (Dicotyledons)
Subclase	: Dilleniidae

Orden	: Málvales
Familia	: Malvaceae/Sterculiáceae
Género	: Theobroma
Especie	: <i>Theobroma cacao</i> L.

### 2.2.3. Variedades o genotipos de cacao

*T. cacao* se divide tradicionalmente en tres grupos genéticos principales de interés comercial, a menudo denominados variedades o genotipos de cacao: Forastero, Criollo y Trinitario. Estos grupos son ricos en polifenoles, particularmente flavonoides y catequinas (37%), antocianinas (4%) y proantocianidinas (58%), compuestos con fuertes propiedades antioxidantes que han demostrado proteger contra enfermedades en estudios tanto en animales como en humanos (Betancourt-Sambony et al., 2025). El cacao comprende un total de 24 especies botánicas. Se cultiva únicamente para producir chocolate, que es un alimento ampliamente utilizado a nivel mundial (Hurtado-Soria et al., 2025).

#### **Forastero**

Los cultivares de cacao forastero, generalmente denominados cacao a granel, se han asociado con una baja calidad sensorial en los chocolates. Esta variedad representa alrededor del 95% de la producción mundial de cacao y es principalmente demandada por la industria de la confitería (Herrera-Rocha et al., 2023).

#### **Trinitario**

El cacao Trinitario ha recibido gran atención entre los tres grupos principales de cacao debido a sus amplias características de calidad, que incluyen las de sus progenitores (Criollo y Forastero). Este híbrido ha demostrado su resistencia a plagas y enfermedades, heredada del Forastero. Su alta productividad y resistencia a plagas y enfermedades (especialmente a la muerte regresiva del veteado vascular) ha sido muy valorada por los productores (Febrianto & Zhu, 2019).

Informes anteriores sugerían que los granos de cacao Trinitario pueden clasificarse como cacao "a granel" menos aromático, según su sabor y composición química. Varios estudios informaron que los clones de diferentes grupos de cacao Trinitario, como ICS (Selección del Colegio Imperial), híbridos CCL y Trinitario cultivados en Malasia tenían diferente calidad sensorial. Los genotipos de los granos de cacao estaban significativamente relacionados con la composición química (Febrianto & Zhu, 2019).

### **2.2.3. Procesamiento del cacao**

Un buen chocolate requiere considerable experiencia, equipo y tiempo. En este sentido, como en muchos otros, es diferente del café, un producto a menudo comparado y confundido con el cacao por el público. El bebedor casual de café podría preparar una taza de café pasable si se le presenta una bolsa de granos de café verde usando solo los utensilios de cocina normales; no así para el amante del chocolate si se enfrenta de manera similar a los granos de cacao crudos (Dand, 2011).

Segun Dand (2011), en general el procesamiento de cacao se realiza siguiendo las siguientes operaciones:

#### **Limpieza**

La limpieza de materias primas es esencial en la fabricación. A pesar del cuidado del agricultor, los granos pueden contener impurezas que deben eliminarse. Este proceso no solo asegura un producto saludable, sino que también minimiza el desgaste de la maquinaria al remover fragmentos de metal o piedra. Aquellos que no reciben granos a granel utilizan operarios para vaciar bolsas en tolvas que eliminan los residuos más grandes. Esta técnica ahorra mano de obra y reduce riesgos para la salud al manejar menos contaminantes. Las fábricas realizan la limpieza, el tostado y el aventado lejos de la planta principal para evitar la contaminación del producto final. Finalmente, los granos son tamizados y procesados con separadores magnéticos y cepillos para dejar solo el producto limpio y puro.

En este punto, los procesadores de cacao pueden optar por una de tres variantes: el tostado tradicional del grano entero o una variante del proceso en la que los granos se pretratan térmicamente, se aventan y luego se tuestan y muelen (tostado de nibs) o se muelen y el licor resultante se tuesta (tostado de licor). Estos dos procesos alternativos se han desarrollado para lograr un tostado uniforme al procesar granos de tamaño variable, además de requerir menos energía, ya que la cáscara no se tuesta.

#### **Tostado**

El tostado requiere la mayor habilidad y dominio. Aunque se ve favorecido por los progresos tecnológicos, potencia el gusto del cacao y mantiene el color del licor y el polvo inalterable. Todo esto se produce a partir de un producto que no es homogéneo, ni en tamaño, ni en humedad, ni en madurez al ser cosechado o fermentado. La temperatura, el tiempo y la humedad presentes en el tostado no solo se determinan por la procedencia del cacao, sino también por el tipo de chocolate o productos necesarios y, en realidad, por el tipo de tostador que se emplee.

Los cacaos finos y aromáticos requieren un tueste ligero, entre 95-110 °C, para resaltar sus sabores delicados. Un tueste a bajas temperaturas es ideal para cacaos destinados a chocolate con leche y ciertos polvos de cacao, mientras que el chocolate fondant también se beneficia de este método. Por otro lado, los cacaos Forastero, como los de Ghana y Costa de Marfil, requieren temperaturas más altas, típicamente en el rango de 120 °C hasta 149 °C. La alta temperatura facilita el prensado del cacao para manteca y polvo, especialmente en el proceso NARS (nibs, alcalinización, tostado y esterilización). La evaluación del tueste final se realiza a través del olfato, examinando una muestra triturada, así como mediante la medición de la humedad relativa del cacao tostado. La humedad relativa de equilibrio superior al 40% indica un tueste ligero, alrededor del 30% un tueste medio, y menos del 20% un tueste oscuro; estas cifras pueden variar según el equipo utilizado. Durante el tostado, se producen diversos cambios en el cacao. El grano pierde agua junto con algunos de los ácidos volátiles del grano, lo que lo oscurece y, lo que es importante para la siguiente etapa, la cáscara se desprende del grano.

#### **Aventar o quebrar y abanicar**

Tras el tostado, los granos se trituran para separar la cáscara de los nibs mediante rodillos dentados o de impacto. Los nibs y las cáscaras, aunque separados, se mezclan y requieren la aventadora que usa tamices y corrientes de aire para separarlos (Dand, 2011). La etapa de aventado en la producción de cacao es crucial, ya que afecta tanto la pureza del producto final como su rentabilidad. La pureza es un desafío, dado que es imposible obtener cacao en polvo completamente libre de cáscara; el límite permitido es del 1,75%, mientras que muchos fabricantes logran mantenerlo alrededor del 1,5%. Por otro lado, la rentabilidad está ligada al rendimiento del nib; se espera que alcance entre el 83-84%, considerando un contenido de cáscara de 1-1,75% y una humedad entre 1,5-3%. Un rendimiento deficiente, como una reducción al 80%, puede resultar en una pérdida significativa del precio pagado por los granos. Por ejemplo, si el cacao se compra a 2200 libras por tonelada, una disminución del 4% en el peso lleva a una reducción del 6% en el precio, lo que representa 132 libras por tonelada. Esta realidad puede influir en las decisiones financieras de los fabricantes que requieren préstamos para mejorar sus equipos.

#### **Nibs, alcalinización, tostado y esterilización**

Los procesadores de cacao pueden ajustar su procedimiento para mejorar el rendimiento y la calidad del cacao. Primero, los granos son tratados con calor radiantes infrarrojo en un micronizador, facilitando la separación de la cáscara del nib sin dañar los

cotiledones. Este método garantiza una mejor recuperación de la manteca de cacao al mantener temperaturas bajas.

La adición de un álcali, comúnmente carbonato de potasio, a los nibs de cacao se realiza en la primera etapa del tueste. Este proceso altera tanto el color de los nibs como el pH, que puede alcanzar valores de hasta 8,5 en polvos oscuros, aunque esto puede afectar negativamente el sabor. Se debates sobre si el cacao alcalinizado tiene un sabor más fuerte o menos astringente. En el proceso NARS, se añaden los álcalis y se calientan los nibs a menos de 100 °C para que absorban el álcali, liberando ácidos volátiles. Posteriormente, se baja la humedad al 2-3 % antes de elevar la temperatura a 130 °C. Esto culmina en una etapa final donde se rocía agua para eliminar microorganismos restantes.

#### **2.2.4. Importancia económica y social**

Se proyecta que el mercado mundial del chocolate, valorado en 119 390 millones de dólares en 2023, crecerá a una tasa de crecimiento anual compuesta del 4,1% entre 2024 y 2030. Dentro de esta industria en expansión, el segmento del chocolate premium, con un valor de 30 900 millones, representa aproximadamente el 25,9% del mercado total del chocolate. Este segmento está experimentando un rápido crecimiento, y se estima que alcanzará los 46 100 millones de dólares en 2028 (CBI, 2024). En Europa, el chocolate premium representa más de una quinta parte del mercado y se espera que crezca un 8,7% anual (GAIA CACAO, 2021). Este creciente interés refleja una tendencia más amplia de los consumidores hacia la valoración de productos de calidad excepcional, sabores únicos e ingredientes distintivos, en particular chocolates de origen único y cacao de sabor fino. Los clientes están cada vez más dispuestos a pagar más por productos que combinan una calidad superior con un abastecimiento sostenible, enfatizando las prácticas éticas y la artesanía en el proceso de producción (Pohlmann et al., 2022).

El cultivo del cacao es una actividad económica y social importante para las regiones tropicales de todo el mundo. Las elevadas concentraciones de cadmio (Cd) en el suelo y los granos de cacao se han convertido en una seria preocupación para productores y consumidores, especialmente tras la implementación de límites más estrictos de Cd para los productos de cacao en la Unión Europea desde 2019. El cadmio es un elemento potencialmente tóxico que puede bioacumularse en diferentes tejidos vegetales, lo que genera preocupación sobre el futuro de las exportaciones de cacao y representa una amenaza significativa para la cadena alimentaria debido al consumo de productos con altas concentraciones de Cd. El cacao

es de gran importancia económica y social para millones de agricultores en regiones tropicales y consumidores de todo el mundo (García et al., 2025).

#### **2.2.5. Propiedades nutricionales y beneficios para la salud**

Es muy valorado por sus diversas propiedades promotoras de la salud (Martin & Ramos, 2021). La bioactividad del cacao y sus productos derivados se atribuye a sus altos niveles de compuestos fenólicos, que superan incluso las reconocidas propiedades antioxidantes del vino tinto, el té verde y el té negro (Lee et al., 2003).

Los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) son un producto agrícola vital, apreciado por su papel en la producción de chocolate y su rico contenido de compuestos bioactivos, incluidos polifenoles y flavonoides, que contribuyen a sus propiedades antioxidantes (Aprotosoai et al., 2016). Investigaciones recientes destacan los beneficios del cacao y sus derivados en la salud, centrando la atención en fitoquímicos como alcaloides y compuestos polifenólicos. Estos bioactivos pueden influir en funciones biológicas, además de ofrecer propiedades antihipertensivas, antiobesogénicas y antioxidantes (Becerra et al., 2024).

El consumo de alimentos ricos en flavonoles y metilxantinas se ha asociado estrechamente con una mejor salud del consumidor. Se sabe que el cacao y sus derivados son una fuente importante de estos compuestos bioactivos (Cinar et al., 2021).

#### **2.2.6. Composición química**

La composición química de las matrices de cacao varía durante los procesos de transformación de la semilla de cacao, específicamente en las etapas de poscosecha y producción de chocolate (Becerra et al., 2024). El cacao es un producto seco y completamente fermentado de los granos de cacao obtenidos de *Theobroma cacao*, que están compuestos de lípidos, fibras, minerales, carbohidratos, proteínas y muchos compuestos bioactivos, incluidos polifenoles y metilxantinas (Tabla 1) (Cinar et al., 2021).

**Tabla 1.** Composición química de los granos de cacao frescos y secos

Macronutrientes	Contenido (%)	
	Fresco (%)	Seco (%)
Agua	50,0	7,0
Proteínas	9,9	18,3
Grasa	34,0	63,2
Carbohidratos	8,2	15,3
Almidón	5,5	10,2
sacarosa	2,7	5,1
Fibra	2,7	5,1
Minerales	2,7	5,1
<b>Otros</b>		
Polifenoles	6,0	11,2
Ácidos orgánicos	1,1	2,1
Pentosán	5,5	10,2
Teobromina	2,7	5,1
Cafeína	1,1	2,1

Fuente: Mühlbauer y Müller (2020)

### 2.2.7. Licor de cacao

El licor de cacao resulta de la molienda de nibs de cacao (semillas de cacao fermentadas, secas y tostadas) y es una fuente importante de grasas (54,20%), carbohidratos (24,23%) y proteínas (12,27%). Con este alto contenido de grasa, el licor es el ingrediente del que se extrae la manteca de cacao mediante prensado (Silveira et al., 2025).

El licor de cacao es el principal precursor del chocolate, un producto de gran valor mundial. Su calidad depende de diversos factores, como el tipo de cacao, el proceso de fermentación y el control de contaminantes en los granos fermentados (Guzmán-Armenteros et al., 2023). El licor de cacao es un producto importante del cacao. Se prepara moliendo, fermentando y tostando los granos de cacao con manteca de cacao (Liu et al., 2017).

Operaciones importantes en la obtención de licor de cacao:

#### **Molienda**

La molienda controlada de granos de cacao es clave para obtener licor de cacao, un producto primario. Debido a la alta grasa del grano, la molienda convierte el sólido en líquido por el calor generado. Esta operación varía según el tipo de grano y el producto final.

Para granos aromáticos, se debe mantener una temperatura baja para preservar los sabores, por lo que se utilizan molinos refrigerados. En contraste, al aumentar la temperatura, se pueden eliminar sabores indeseados en el licor destinado al chocolate con leche (Dand, 2011).

La delicadeza del tamaño de las partículas es fundamental. Si el licor está destinado a la elaboración de manteca y polvo de cacao, una molienda excesivamente fina complica la fase de prensado. Por otro lado, si el cacao se tritura de manera muy gruesa, el prensado será ineficaz, ya que parte de la grasa quedará atrapada en la estructura celular. Esto no solo influye en el rendimiento de la manteca, sino que el tamaño de partícula definido en la molienda inicial establece el tamaño de partícula final de los polvos. El procesamiento subsiguiente de la torta y el polvo no disminuye el tamaño de partícula fijado en la molienda, sino que simplemente fragmenta las aglomeraciones de partículas de polvo (Dand, 2011).

El tamaño de las partículas es crucial para el licor utilizado en chocolate. De manera algo contradictoria, resulta más económico triturar el licor de cacao que se destinará a la elaboración de chocolate más grueso en comparación con aquel que se usará para productos finales de mayor calidad. Un licor molido con mayor finura libera una proporción más alta de manteca de cacao, lo cual es fundamental si el proceso de refinado adicional es limitado o inexistente, ya que, de lo contrario, se liberaría la manteca de cacao que queda. Aunque los molinos modernos son capaces de producir licor con partículas muy pequeñas (99 % a través de un tamiz de petróleo de 325 mallas), para la elaboración de cacao en polvo es suficiente contar con una textura del 99,5 % a través de un tamiz de 200 mallas (Dand, 2011).

### **Mezcla**

Los fabricantes no suelen usar un solo tipo de grano para sus productos; necesitan mezclar diferentes cacaos. Aunque esto puede realizarse en distintas etapas, es raro hacerlo antes del tostado debido a las diferencias en los tuestes requeridos. Mezclar durante el aventado presenta problemas para obtener tamaños de partículas uniformes, ya que los granos con cáscara pesada requieren más craqueo. Por lo general, la mezcla se realiza después de la molienda, ya que algunos nibs muelen más fácilmente que otros y requieren temperaturas distintas (Dand, 2011).

### **Procesamiento del licor de cacao**

Los fabricantes de chocolate dependen del licor de cacao para el sabor de sus productos, lo que hace crucial la calidad de este. A menudo, el licor presenta sabores desagradables como ahumados o ácidos, especialmente en la producción de los países de origen. Existen métodos para reducir estos sabores, como el calentamiento y el uso de vapor, pero

pueden comprometer el aroma a chocolate. La elección del proceso adecuado varía según el tipo de cacao y el sabor deseado (Dand, 2011).

En esta etapa, el licor normalmente contiene una pequeña cantidad de humedad que, de no distribuirse homogéneamente, provocará la formación de lodos en los tanques de almacenamiento o en las tuberías de la maquinaria posterior. Si bien existe cierta discrepancia sobre el contenido óptimo de agua en el licor, un rango aceptable es del 0,8 al 1,8 %, aunque la mayoría de las fábricas operan entre el 1% y el 1,5%.

### **2.3. Compuestos bioactivos**

Los compuestos bioactivos son fitoquímicos presentes en los alimentos que pueden modular los procesos metabólicos y favorecer una mejor salud. Presentan efectos beneficiosos como la actividad antioxidante, la inhibición o inducción de enzimas, la inhibición de las actividades de los receptores y la inducción e inhibición de la expresión génica (Galanakis, 2017). El término bioactivo es un término alternativo para biológicamente activo. Un compuesto bioactivo es una sustancia que posee actividad biológica, afectando directamente a un organismo vivo. El efecto de los compuestos bioactivos podría ser positivo o negativo dependiendo de la sustancia, la dosis y su biodisponibilidad. in embargo, en general, se afirma que los compuestos bioactivos consumidos en niveles suficientes proporcionan beneficios para la salud como la prevención o el tratamiento de varias enfermedades (Mahfoudhi et al., 2016).

Los compuestos bioactivos son constituyentes extranutricionales que se encuentran en pequeñas cantidades en los alimentos y que proporcionan beneficios para la salud más allá del valor nutricional básico del producto. Se están estudiando intensamente para evaluar sus efectos sobre la salud, y los compuestos bioactivos parecen tener efectos fisiológicos, conductuales e inmunológicos beneficiosos. Algunos ejemplos de compuestos bioactivos son carotenoides, flavonoides, carnitina, colina, coenzima Q, fitoesteroles, fitoestrógenos, glucosinolatos, polifenoles y taurina. Dado que las vitaminas y los minerales provocan efectos farmacológicos, también pueden clasificarse como compuestos bioactivos (Hamzalıoğlu & Gökmen, 2016).

#### **2.3.1. Polifenoles**

Los compuestos fenólicos, que actúan como metabolitos secundarios en las plantas, constituyen una de las principales fuentes de productos químicos naturales de origen vegetal utilizados por los humanos. Los polifenoles presentan diversas estructuras complicadas con anillos fenólicos que funcionan como su monómero fundamental. (Zhang et al., 2022). La

solubilidad de los polifenoles depende de su estructura, y generalmente presentan una buena solubilidad tanto en agua como en etanol. Asimismo, los polifenoles pueden mostrar diversas variaciones de color en ambientes ácidos o básicos debido a que los compuestos polifenólicos se encuentran en distintas formas químicas a diferentes niveles de pH.(Wang et al., 2024). Asimismo, los polifenoles de diversas estructuras presentan distintas propiedades fisicoquímicas y actividades biológicas. Cada vez hay más evidencia de que los compuestos fenólicos muestran una variedad de actividades biológicas, incluyendo propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiobesidad, antidiabetes, anticancerígenas y más (Mehmood et al., 2020). Los polifenoles, por lo tanto, han capturado el interés en las áreas de medicina, salud y alimentos funcionales. No obstante, ciertos polifenoles (como los flavonoides, catequinas y taninos) presentan aplicaciones bastante restringidas en formulaciones alimentarias o farmacéuticas, debido a su escasa dispersabilidad en agua, inestabilidad química, rápido metabolismo y mala absorción en condiciones fisiológicas (Yeop et al., 2021).

### **2.3.2. Antocianinas**

Las antocianinas son formas glucosídicas de las antocianidinas, que son las principales formas de existencia de antocianidinas en las plantas (Panche et al., 2016). Las antocianinas son un grupo fundamental de pigmentos naturales en la familia de los flavonoides y son la fuente de los colores púrpura, rojo y azul en muchas bayas, frutas y flores (Dini et al., 2019). Las antocianinas más conocidas son la malvidina, la cianidina, la delfinidina, la peonidina, la pelargonidina y la petunidina. Además de su función en la deposición de pigmentos, se sabe que las antocianinas exhiben varios efectos biológicos, incluyendo antiinflamatorios, antioxidantes, anticancerígenos y prevención del daño al ADN (Tan et al., 2023).

### **2.4. Capacidad antioxidante**

La capacidad antioxidante de un producto vegetal está determinada por la concentración y la forma química de los compuestos que pueden actuar como antioxidantes. Los principales antioxidantes dietéticos presentes en frutas y verduras son la vitamina C , la vitamina E , los carotenoides y los compuestos fenólicos (Bengtsson & Hagen, 2008). La capacidad antioxidante de un alimento no es lo mismo que la suma de las capacidades antioxidantes de compuestos bioactivos individuales. La capacidad antioxidante se deriva de efectos sinérgicos entre compuestos bioactivos, oligoelementos, metales y otros constituyentes de los alimentos (Saura-Calixto et al., 2009).

Los antioxidantes pueden actuar a través de mecanismos muy diferentes, como la quelación de metales, la supresión de los primeros radicales libres que inician el daño oxidativo, la captura de radicales libres y la formación de complejos o la inducción de la actividad de sistemas biológicos antioxidantes. También están presentes en matrices heterogéneas, como en el caso de los productos alimenticios, y la existencia de ambos factores significa que su capacidad antioxidante no puede evaluarse mediante un único método (Saura-Calixto et al., 2009).

La capacidad antioxidante puede evaluarse mediante diversos métodos que se clasifican en dos categorías generales (Pradas-Baena et al., 2015):

- Ensayos basados en una reacción de transferencia de electrones que se monitorea a través del cambio de color del oxidante a medida que se reduce; y
- Ensayos basados en una reacción de transferencia de átomos de hidrógeno donde el antioxidante y el sustrato compiten por radicales libres.

El primer grupo (ensayos de transferencia electrónica) incluye el ensayo de Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC), el ensayo de Capacidad Reductora Férrica del Plasma (FRAP) y el ensayo de Capacidad de Eliminación de Radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). El segundo grupo se compone principalmente del ensayo de Capacidad de Absorbancia de Radicales de Oxígeno (ORAC) (Pradas-Baena et al., 2015).

## **2.5. Análisis sensorial**

La prueba y el desarrollo de alimentos utilizan los resultados de experimentos sensoriales en los que los productos se presentan sistemáticamente a personas, panelistas capacitados o consumidores aleatorios, quienes los califican de diversas maneras (Hibbert, 2009). Se define el análisis sensorial con respecto a los productos alimenticios (con cierta circularidad) como la identificación, medición científica, análisis e interpretación de las propiedades (atributos) de un producto tal como se perciben a través de los cinco sentidos: vista, olfato, gusto, tacto y oído (Carpenter et al., 2000).

El aumento en la demanda de productos alimenticios seguros y nutritivos ha llevado a un interés creciente por la calidad organoléptica. El análisis sensorial se ha vuelto crucial en diversos sectores alimentarios, utilizando paneles de prueba organolépticos; para evaluar características como apariencia, aroma, sabor y textura. La capacitación y replicación adecuada de los jueces son esenciales para garantizar resultados precisos. Sin embargo, se están desarrollando enfoques instrumentales modernos que imitan la percepción humana, utilizando una combinación de datos de multisensores. Herramientas como la olfatometría por

cromatografía de gases y dispositivos como la nariz electrónica permiten detectar compuestos volátiles en alimentos, facilitando un análisis rápido y objetivo, mejorando así la calidad y autenticidad de los productos alimentarios (El Sheikha, 2021).

## 2.6. Reología de alimentos

La reología de los alimentos se centra en la consistencia y el flujo de los alimentos bajo fuerzas específicas, con el objetivo de comprender los principios fisicoquímicos detrás de la estructuración de estos materiales. Sus propiedades mecánicas, como fluidez y consistencia, son vitales para el procesamiento y la textura de los productos alimentarios. La reología se aplica principalmente en tres áreas (Aguilera y Stanley, 1999):

- Ingeniería de alimentos: Los ingenieros utilizan datos reológicos para optimizar procesos y productos, abordando flujos en mezcla, dispersión, extrusión y más.

- Ciencia de materiales: Físicos y científicos se enfocan en la relación entre reología y estructura, utilizando sistemas modelo para establecer propiedades y desarrollar nuevas formulaciones.

- Tecnología de alimentos: Se busca una caracterización comparativa de productos, estableciendo relaciones entre reología y propiedades como textura, estabilidad, conveniencia y características nutritivas.

La caracterización reológica implica cuantificar la relación entre deformación, tensión y propiedades reológicas, como viscosidad y elasticidad. Los experimentos se realizan imponiendo tensiones o deformaciones y permiten explorar las relaciones estructurales en niveles supermoleculares. Mediciones en grandes deformaciones proporcionan información sobre el comportamiento viscoelástico, relevante para la experiencia de consumo, como al cortar o masticar (Aguilera & Stanley, 1999).

Modelo de Casson

$$\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + (k\gamma)^{1/2}$$

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en los laboratorios de: Control de Calidad y Análisis Sensorial, Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias, laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en el laboratorio de macroprocesos de la Cooperativa Alto Huallaga.

#### 3.2. Materia prima

Para la investigación se utilizaron granos de cacao del híbrido nativo de la Finca de la señora Evila Sánchez Sandoval en la localidad Corvina-Venenillo, que fueron proporcionadas por la Cooperativa Alto Huallaga.

#### 3.3. Metodología experimental

##### 3.3.1. Obtención del licor de los granos de cacao

De acuerdo con el flujo de procesos indicado en la Figura 1.

**Recepción:** Se recibieron los granos provenientes de la ciudad de Tingo María proporcionada por la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga.

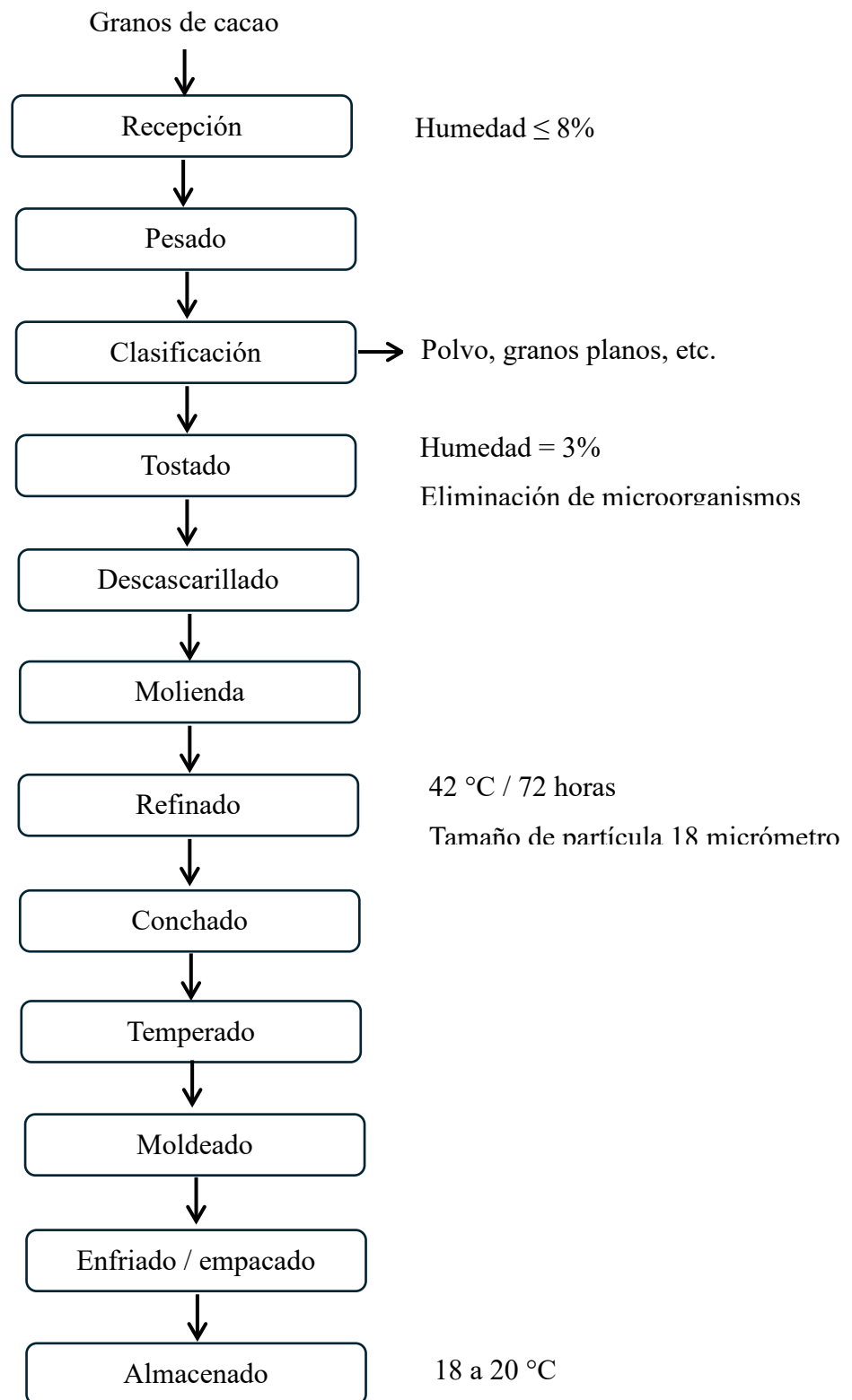
**Pesado:** Se realizó con la finalidad de comprobar el peso enviado por el proveedor.

**Clasificación:** Se realizará con la finalidad de eliminar algunas impurezas.

**Tostado:** Se realizó en una tostadora de material inoxidable INOX 304 de modelo y fabricación ERTC made in PERÚ-IMSA, capacidad 100 kg por hora a las temperaturas de 90, 100, 110 °C y a los tiempos 30; 35 y 40 minutos.

**Descascarillado:** Cascarilladora material inoxidable INOX 304 de una capacidad 20 kg por hora con ciclón de recepción de cascarillas y polvo, sistema de zaranda tubular, con succión de aire secuencial por tamaño, made in PERÚ-IMSA. Se separó la cáscara del grano tostado, mediante el rozamiento y fraccionamiento de los granos obteniendo la cascarilla y nibs de cacao.

**Molienda:** Los nibs fueron molidos, hasta obtener partículas de 100 a 200 micras en un molino de pines de INOX 304 made in PERÚ-IMSA, con capacidad de 20 kg por hora, enchaquetada para recirculación de agua helada, Incluye Chiller – enfriador de agua.



**Figura 1.** Flujograma para la obtención de licor de cacao

**Refinado:** Con una refinadora de billas de acero inoxidable con una capacidad 15 kg, made in PERÚ-IMSA. Se redujo el tamaño de las partículas de la pasta de cacao por un tiempo promedio de 10 horas hasta obtener una finura de 30 a 40  $\mu\text{m}$ , manteniendo a una temperatura entre 45 a 55 °C.

**Conchado:** En una conchadora Chocolate Refiner Premier con una capacidad de 1,5 L, modelo y fabricación PG-506 hecho en INDIA. Se eliminaron los compuestos volátiles, proporcionándole sabores deseables y obteniendo el tamaño de las partículas de 18 a 20 micras.

**Temperado:** Se realizó con la finalidad de estabilizar los cristales de la pasta de cacao.

**Moldeado:** El licor de cacao fue envasado en bolsa de polietileno.

**Enfriado y empacado:** El licor de cacao envasado fueron enfriados hasta temperatura de 2 a 5 °C.

**Almacenado:** Se almacenó en un ambiente acondicionado.

### 3.3.2. Determinación de los compuestos bioactivos

#### Determinación de polifenoles totales

Los análisis de fenoles totales se realizaron utilizando el método de Folin-Ciocalteu propuesto por Singleton y Rossi (1965). Para ello, se añadieron 0,1 mL de extracto, 0,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich) y 0.4 mL de solución de carbonato de sodio al 7,5% en un tubo de ensayo. Los contenidos se mezclaron y se mantuvieron durante 90 min a temperatura ambiente (25 °C), protegido de la luz. Luego, la concentración de fenoles totales se determinó con un espectrofotómetro a una longitud de onda de 740 nm. Se utilizó ácido gálico (Sigma-Aldrich, 98,5%) como estándar y la concentración se expresó en gramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de muestra (g GAE/100 g).

#### Determinación de antocianinas totales

Se determinó por el método pH diferencial descrito por Puertas-Mejía et al. (2013) en resumen se mezclaron 100  $\mu\text{L}$  de extracto con 900  $\mu\text{L}$  buffer de pH 1,0 (cloruro de potasio 0,025M) al mismo tiempo también se mezcló 100  $\mu\text{L}$  de extracto con 900  $\mu\text{L}$  de buffer de pH 4,5 (acetato de sodio 0,4M). Estas mezclas se dejaron reposar por 15 min y se midieron las absorbancias a 510 y 700 nm. Para mediciones se utilizó como blanco agua destilada. La absorbancia final se calculó mediante la ecuación 1:

$$\text{Absorbancia} = [(A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 1,0}] - [(A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 4,5}] \quad (1)$$

y el CAT se calculó mediante la ecuación (2):

$$\text{CAT (mg/L)} = \frac{A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (2)$$

A es la absorbancia; PM el peso molecular cianidin-3-glucósido (449,32g/mol); FD, el factor de dilución y  $\epsilon$  la constante de absortividad molar (26900 L/mol.cm).

### **Determinación de la capacidad antioxidante DPPH**

Se determinó de acuerdo la metodología Palma-Orozco et al. (2021) con algunas modificaciones, a partir una solución metanólica DPPH 1000 uM, se preparó soluciones de trabajo a 100  $\mu$ M.

**Preparación de la curva estándar:** Se prepararon soluciones de 30; 20; 10 y 5 uM de estándar Trolox, 25 uL de cada una de las soluciones se mezclaron con 975  $\mu$ L de radical DPPH y se dejó reposar por 30 minutos, para la lectura se utilizó un espectrofotómetro Uv/Vis a 515 nm. Con los datos obtenidos de absorbancia se realizó una regresión para obtener la curva de calibración ( $y=30,224x-0,0631$ ;  $R^2 = 0,9976$ ).

**Análisis de muestras:** Se mezclaron 25  $\mu$ L de extracto con 975  $\mu$ L del radical DPPH se dejó por 30 min para la reacción, al cabo del tiempo se realizó la lectura a 515 nm. El resultado de la absorbancia fue reemplazado en la ecuación lineal y se expresó en mili mol de equivalente Trolox por 100 gramos de muestra seca (mmol TE /100 g de muestra seca).

### **3.3.3. Determinación de los parámetros reológicos**

#### **Determinación de la velocidad y esfuerzo de corte**

Se vertieron 180 mL de licor de cacao en un frasco de 200 mL de capacidad, y se corroboró con el sensor de temperatura que la lectura en la pantalla del equipo indicaba  $40 \pm 0,5$  °C para evitar la solidificación. Las mediciones se llevaron a cabo utilizando el reómetro Brookfield modelo DV-III ultra en un rango de 10 a 100 RPM con incrementos de 10. Tras 3 minutos se registraron el torque y la viscosidad aparente. Para determinar la velocidad angular, se empleó una hoja de cálculo y se aplicó la Ecuación 3, mientras que la velocidad de deformación o tangencial se calculó utilizando la Ecuación 4 (Brookfield, 2010).

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot RPM}{60} \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{2\omega R_c^2 R_b^2}{x^2 [R_c^2 - R_b^2]} \quad (4)$$

Donde:

$\omega$  : Velocidad angular (rad/s)

RPM : Revoluciones por minuto

$\gamma$  : Velocidad de deformación (1/s)

$R_c$  : Radio del recipiente que contiene la pulpa ( $R_c = 3,00$  cm)

$R_b$  : Radio del husillo número 6 ( $R_b = 0,731$  cm)

$x$  : radio en el que se calculará la velocidad de corte (normalmente el mismo valor que  $R_b$ ; en centímetros)

Se utilizó la Ecuación 5 para calcular el esfuerzo de corte.

$$\tau = \mu\gamma \quad (5)$$

Donde:

$\tau$  : esfuerzo de corte (Pa)

$\mu$  : viscosidad aparente (Pa.s)

### **Determinación de parámetros reológicos con el modelo de Casson**

El modelo de Casson se ajustó a las curvas de flujo para evaluar el esfuerzo de fluencia o umbral de fluencia ( $\tau_0$ ) y la viscosidad de Casson o índice consistencia ( $k$ ) (Thilakarathna et al., 2025). El modelo de Casson (Ecuación 6) se ajustó mediante hoja de cálculo de Microsoft Excel mediante el complemento solver utilizando los datos experimentales obtenidos por el reómetro Brookfield.

$$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + (k\gamma)^{0,5} \quad (6)$$

#### **3.3.4. Evaluación sensorial**

Se reclutó un total de 70 panelistas no entrenados. Los participantes evaluaron los atributos sensoriales del licor de cacao, incluyendo color, olor, persistencia y

aceptabilidad, utilizando una escala hedónica de 9 puntos donde 1 representaba "Disgusta extremadamente" y 9 representaba "Gusta extremadamente" (Anexo 1). Antes de la evaluación, se informó a los participantes sobre el proyecto y se obtuvo su consentimiento para la participación y la divulgación de los datos. Para minimizar el sesgo, cada muestra de licor fue de 3 g de peso, se codificó con un número aleatorio de tres dígitos. Se indicó a los participantes que limpiaran sus paladares bebiendo agua entre muestras.

### 3.3.5. Optimización por superficie respuesta

Se utilizó el diseño de composición central (DCC) con dos puntos centrales, es el más utilizado en la búsqueda de segundo orden debido a su gran flexibilidad se puede construir a partir de un diseño factorial completo  $2^k$  agregando puntos sobre los ejes y al centro (Pulido et al., 2012). El diseño se muestra en la Tabla 2.

Se empleó un modelo estadístico (Ecuación 7) que incluye términos de interacción y polinomiales para analizar la respuesta (Shah et al., 2008):

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_{11}A^2 + b_{22}B^2 + b_{12}AB \quad (7)$$

Donde Y es la variable dependiente,  $b_0$  representa la media aritmética de las nueve ejecuciones, mientras que  $b_1$  y  $b_2$  son los coeficientes calculados para los factores A y B. Los efectos principales (A y B) muestran el resultado medio al modificar un factor en el tiempo desde su nivel más bajo hasta su nivel más alto. Los términos de interacción (AB) indican cómo varía la respuesta al cambiar 2 factores al mismo tiempo. Se incluyen los términos polinomiales ( $A^2$  y  $B^2$ ) para analizar la no linealidad.

**Tabla 2.** Diseño de composición central para la etapa del tostado de los granos de cacao

<b>Tratamientos</b>	<b>A Temperatura (°C)</b>	<b>B Tiempo (minutos)</b>
1	90	30
2	110	30
3	90	40
4	110	40
5	95	35
6	105	35
7	100	32,5
8	100	37,5
9	100	35
10	100	35

### 3.4. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en este estudio se expresaron como medias  $\pm$  desviaciones estándar de análisis replicados. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey utilizando STATGRAPHICS 16 y Minitab 21.1. La significancia de las diferencias entre las medias se indicó con un nivel de confianza del 95 %. Los análisis se repitieron tres veces por muestra, excepto el análisis sensorial, en el que se realizaron 70 mediciones con diferentes panelistas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Compuestos bioactivos en el licor de cacao

#### 4.1.1. Polifenoles totales

La composición química de las matrices de cacao cambia a lo largo de los procesos de transformación de la semilla de cacao, es decir, las operaciones de poscosecha y la producción de chocolate (Becerra et al., 2024). El contenido de polifenoles totales en el licor de cacao se encontró entre  $0,635 \pm 0,005$  a  $0,944 \pm 0,014$  g EAG/100 g de muestra, para granos tostados a  $100\text{ °C}/35$  min y  $90\text{ °C}/30$  min respectivamente (Tabla 3, Anexo 2). Asiedu et al. (2025) obtuvieron un contenido total de polifenoles de las muestras en un rango de 25,93 g EAG a 32,87 g EAG g/100 g de licor de cacao, la diferencia puede deberse a diversos factores como las prácticas poscosecha, métodos de extracción entre otros. En otro estudio similar se informó el contenido de polifenoles totales entre 3,94 y 6,363 g EAG/100 g en granos tostados a  $140\text{ °C}/30$  min y  $120\text{ °C}/20$  min respectivamente (Hurtado-Soria et al., 2025). Se observa una tendencia similar entre la temperatura y tiempo de tostado en todos los resultados, es decir, a mayor temperatura y tiempos prolongados el contenido fenólico disminuyó.

**Tabla 3.** Polifenoles totales en el licor de cacao según la temperatura y tiempo de tostado.

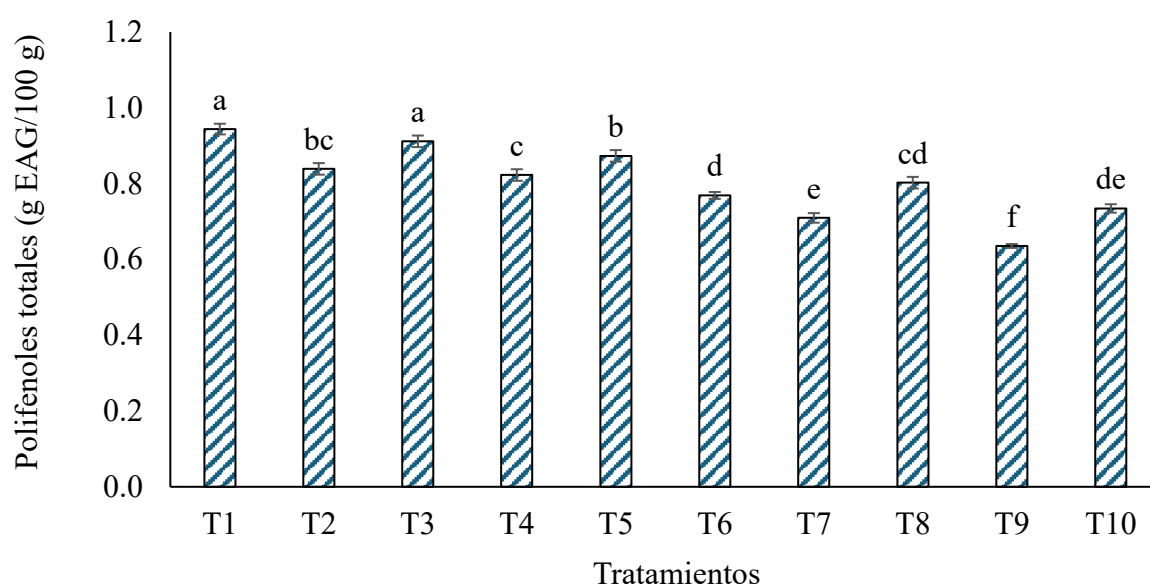
Tratamiento	Polifenoles totales (g EAG/100 g)
T1 (90 °C / 30 min)	$0,944 \pm 0,014^a$
T2 (110 °C / 30 min)	$0,839 \pm 0,015^{bc}$
T3 (90 °C / 40 min)	$0,911 \pm 0,015^a$
T4 (110 °C / 40 min)	$0,823 \pm 0,015^c$
T5 (95 °C / 35 min)	$0,873 \pm 0,015^b$
T6 (105 °C / 35 min)	$0,769 \pm 0,009^d$
T7 (100 °C / 32,5 min)	$0,709 \pm 0,013^e$
T8 (100 °C / 37,5 min)	$0,802 \pm 0,015^{cd}$
T9 (100 °C / 35 min)	$0,635 \pm 0,005^f$
T10 (100 °C / 35 min)	$0,734 \pm 0,011^{de}$

EAG: Equivalentes de ácido gálico

El contenido y la composición de los polifenoles en el cacao y sus productos derivados varían considerablemente dependiendo del genotipo, el cultivar, el origen, las prácticas agrícolas, las prácticas poscosecha y el procesamiento del grano. La fermentación de

los granos de cacao se considera uno de los principales pasos que afectan el contenido de polifenoles (Molina-García et al., 2018).

El contenido polifenólico de las muestras de licor de cacao obtenidas de los granos de cacao tostados a 90 °C durante 30 y 40 min no fue estadísticamente diferente ( $p > 0,05$ ) del contenido total de polifenoles de las muestras obtenidas de los granos tostados a 110 °C durante 30 y 40 min, aunque el contenido fenólico total de los granos tostados a 110 °C durante 30 min fue ligeramente superior al contenido fenólico total de los tostados a 110 °C durante 40 min (Figura 2). Si bien se ha informado que el tostado a alta temperatura y corto tiempo (HTST) preserva mejor el contenido polifenólico, el tostado a baja temperatura y largo tiempo (LTLT) a menudo maximiza la capacidad antioxidante (Suleman et al., 2025), en este estudio no se observó una tendencia predominante.



**Figura 2.** Polifenoles totales del licor de cacao obtenidos en diferentes tratamientos de tostado

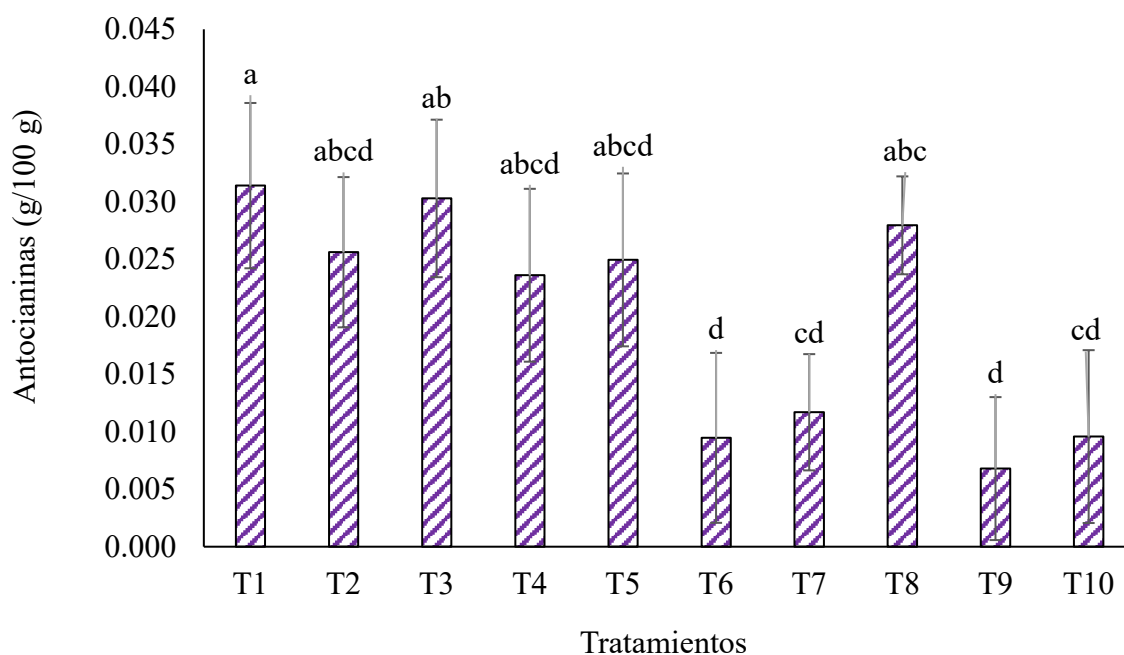
El contenido de polifenoles es variable según la temperatura y tiempo de tostado (Figura 2), Los polifenoles pueden experimentar reacciones de isomerización, degradación y polimerización para formar nuevas sustancias que usualmente tienen intensidades de amargor o astringencia más débiles (Jiang et al., 2022). La reacción de Maillard ocurre cuando los aminoácidos y azúcares se tuestan a alta temperatura, con la formación de pirazinas, pirroles y otros compuestos aromáticos tostados. Además, los polifenoles también se polimerizan durante el tostado a alta temperatura, lo que produce nuevos compuestos con colores brillantes similares a los productos de la reacción de Maillard (Carson et al., 2016).

#### 4.1.2. Antocianinas

Las antocianinas son un grupo importante de flavonoides presentes en los granos de cacao crudo. El contenido de antocianinas totales se encontró en el rango de  $0,007 \pm 0,005$  a  $0,031 \pm 0,014$  g/100 g de licor de cacao expresados como equivalentes de cianidin-3-glucósido (449,32g/mol) (Tabla 4, Anexo 3). Las concentraciones de antocianinas en el licor de cacao a partir de granos tostados mostraron diferencias significativas entre varios tratamientos de tostado, T1 es diferente con los tratamientos T6, T7, T9 y T10; T3 es diferente con los tratamientos T6, T9 y T10 y finalmente T8 fue diferente a T9 (Tabla 4 y Figura 3). Las diferencias de los resultados podrían estar asociadas con el efecto del proceso intrínseco del cacao (tostado y conchado) (Calva-Estrada et al., 2020). Las antocianinas suelen desaparecer rápidamente durante la fermentación, hidrolizándose a antocianidinas, que polimerizan junto con catequinas simples para formar taninos complejos. Durante el secado, continúan las reacciones de oxidación iniciadas durante la fermentación, y la degradación de los fenoles aumenta con la temperatura. La alcalinización de los granos tostados, el licor o el polvo también ocasiona pérdidas considerables de polifenoles del cacao (Molina-García et al., 2018). Las diferencias también podrían atribuirse a las reacciones enzimáticas o no enzimáticas que ocurren durante el procesamiento poscosecha y el almacenamiento de los granos de cacao, lo que lleva a la degradación de los pigmentos de antocianina (Suazo et al., 2014).

**Tabla 4.** Contenido de antocianinas totales en el licor de cacao

Tratamiento	Antocianinas (g /100 g)
T1 (90 °C / 30 min)	$0,031 \pm 0,014^a$
T2 (110 °C / 30 min)	$0,026 \pm 0,015^{abcd}$
T3 (90 °C / 40 min)	$0,03 \pm 0,015^{ab}$
T4 (110 °C / 40 min)	$0,024 \pm 0,015^{abcd}$
T5 (95 °C / 35 min)	$0,025 \pm 0,015^{abcd}$
T6 (105 °C / 35 min)	$0,009 \pm 0,009^{cd}$
T7 (100 °C / 32,5 min)	$0,012 \pm 0,013^{bcd}$
T8 (100 °C / 37,5 min)	$0,028 \pm 0,015^{abc}$
T9 (100 °C / 35 min)	$0,007 \pm 0,005^d$
T10 (100 °C / 35 min)	$0,010 \pm 0,011^{dc}$



**Figura 3.** Antocianinas totales en el licor de cacao

El tostado es crucial en el procesamiento de granos de cacao, afectando su calidad y características sensoriales. Se lleva a cabo a temperaturas de 130 a 150 °C durante 15-45 minutos, pero los granos finos requieren temperaturas más bajas que los del grupo Forastero (Ramli et al., 2006). En contraste, el tostado provoca alteraciones notables en la composición de los compuestos polifenólicos. A lo largo del procesamiento térmico tradicional, los polifenoles tienden a descomponerse con facilidad y/o a unirse a las estructuras poliméricas (Misnawi et al., 2004). Existen varios informes en la literatura que indican que el tostado de los granos de cacao condujo a una disminución del contenido total de polifenoles y flavonoides (Hurst et al., 2011). El factor más importante que causa la degradación de estos compuestos es la elevada temperatura y la exposición al oxígeno durante el tratamiento térmico (Tamrin et al., 2012).

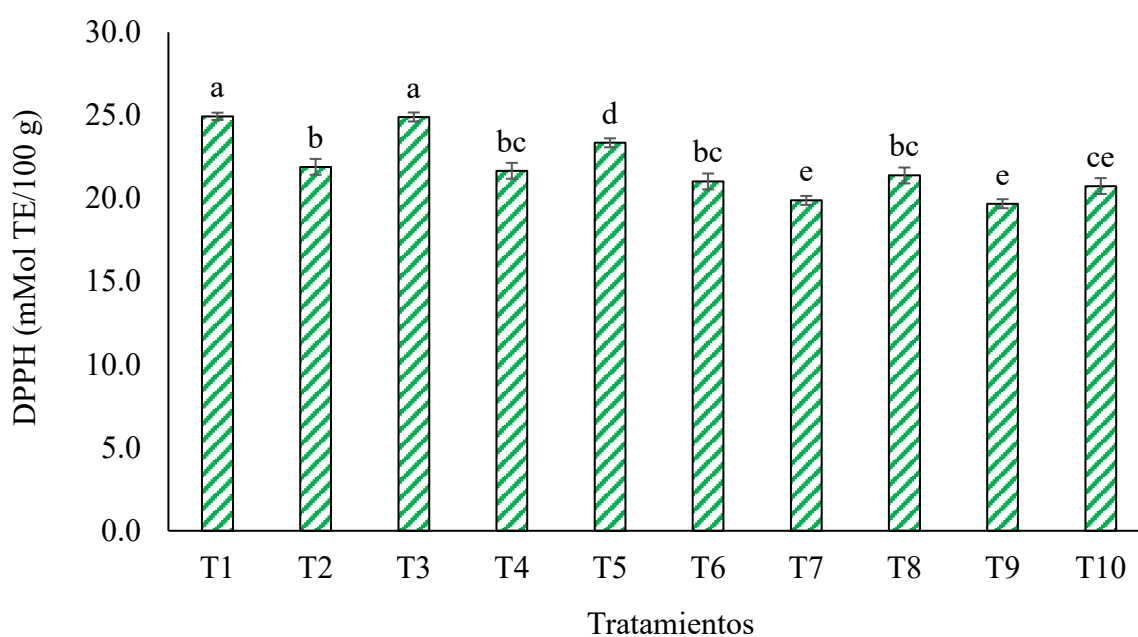
#### 4.1.3. Capacidad antioxidante

En general, las muestras de licor de cacao derivadas de los granos tostados a diferentes temperaturas con tiempos cortos y prolongados no registraron un patrón predominante respecto a la capacidad antioxidante, sin embargo, los tratamientos fueron estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) (Tabla 5, Figura 4, Anexo 4).

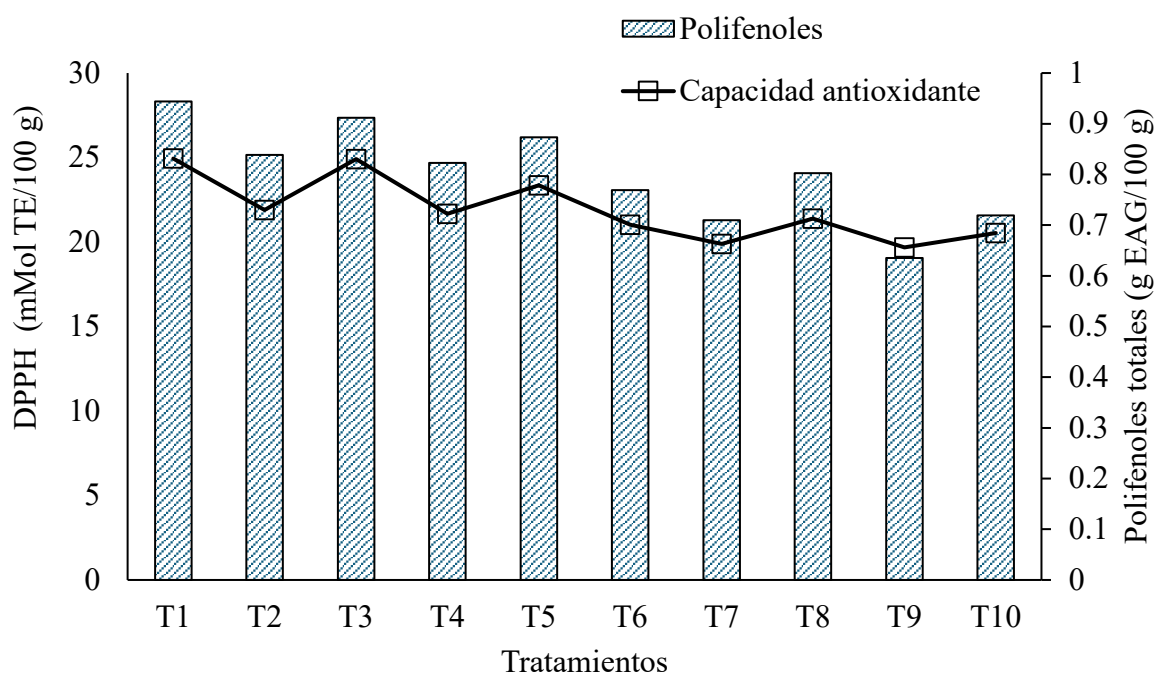
**Tabla 5.** Capacidad antioxidante del licor de cacao según la temperatura y tiempo de tostado

Tratamiento	DPPH (mMol TE /100 g)
T1 (90 °C / 30 min)	24,94 ± 0,219 <sup>a</sup>
T2 (110 °C / 30 min)	21,899 ± 0,479 <sup>b</sup>
T3 (90 °C / 40 min)	24,900 ± 0,271 <sup>a</sup>
T4 (110 °C / 40 min)	21,660 ± 0,479 <sup>bc</sup>
T5 (95 °C / 35 min)	23,346 ± 0,271 <sup>d</sup>
T6 (105 °C / 35 min)	21,022 ± 0,479 <sup>bc</sup>
T7 (100 °C / 32,5 min)	19,880 ± 0,271 <sup>e</sup>
T8 (100 °C / 37,5 min)	21,381 ± 0,479 <sup>bc</sup>
T9 (100 °C / 35 min)	19,681 ± 0,271 <sup>e</sup>
T10 (100 °C / 35 min)	20,743 ± 0,479 <sup>ce</sup>

Al comparar las figuras 2 y 4, se observa que la capacidad antioxidante estuvo estrechamente relacionada con el contenido total de polifenoles se ha fusionado ambas figuras en la Figura 5. Esta correlación entre ambos parámetros (polifenoles totales y capacidad antioxidante) fue descrita previamente por Puchol-Miquel et al. (2021), quienes indicaron que los altos valores de ambos parámetros se debían a la capacidad de los polifenoles de ceder electrones para generar una respuesta antioxidante.

**Figura 4.** Capacidad antioxidante del licor de cacao

Como se evidencia en la Figura 5, la capacidad antioxidante varía de forma directamente proporcional al contenido de polifenoles totales; su aumento conlleva un incremento de la actividad antioxidante, mientras que su disminución resulta en una reducción de la misma. Las propiedades bioactivas de los productos de cacao y el chocolate se correlacionan principalmente con la presencia de polifenoles, así como con compuestos menores con una interesante capacidad antioxidante (Bordiga et al., 2015). La capacidad antioxidante está estrictamente correlacionada con el contenido de polifenoles. Similar a los resultados del contenido total de fenólicos y flavonoides, el licor de cacao natural tuvo la cantidad más alta de polifenoles (Gültekin-Özgüven et al., 2016).

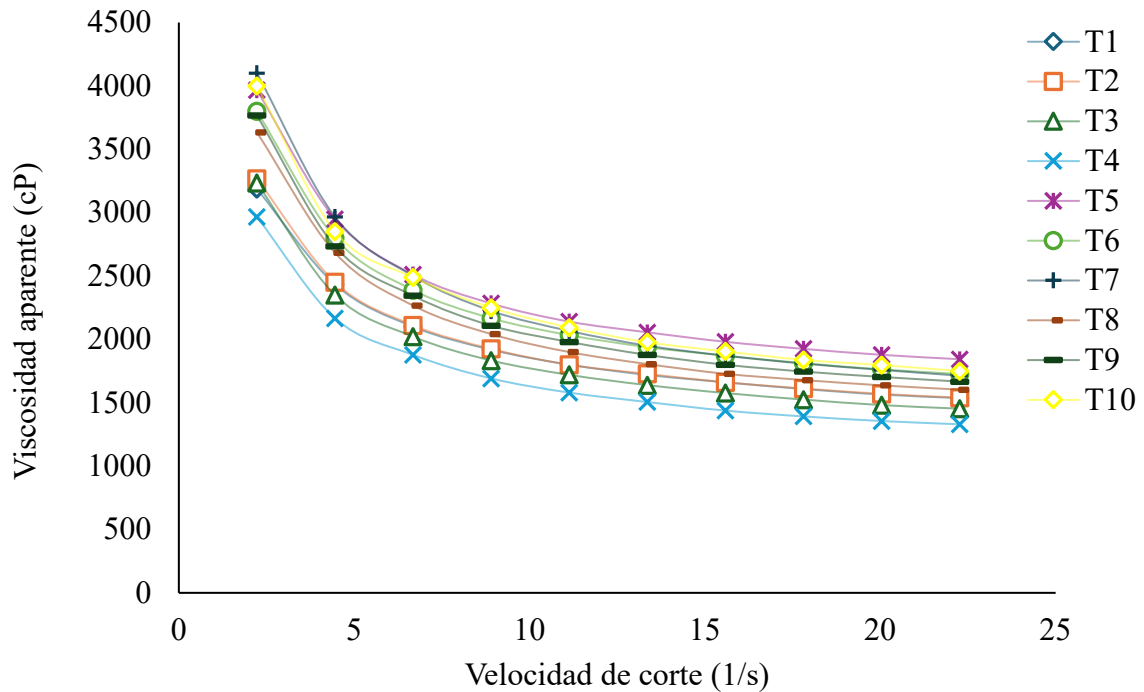


**Figura 5.** Correlación entre el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante

#### 4.2. Parámetros reológicos del licor de cacao

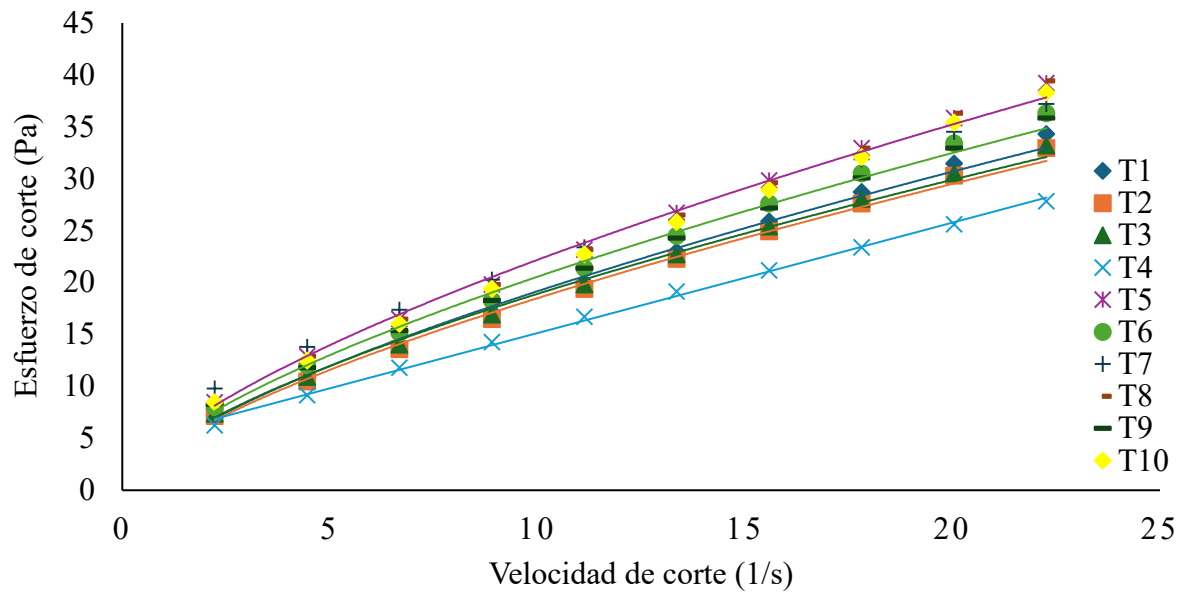
Se calculó mediante el modelo de Casson, modelo utilizado en la industria del chocolate junto con el modelo de Carreau. El modelo de Casson exhibió un excelente ajuste al comportamiento reológico de licor de cacao (Fernandes et al., 2013). Se observa que la viscosidad aparente de todos los tratamientos caracterizados muestra una disminución con el aumento de la velocidad de deformación, lo que indica que el adelgazamiento por cizallamiento y el comportamiento no newtoniano ocurrieron en todas las muestras analizadas (Figura 6). Este comportamiento se conoce como pseudoplástico y se genera cuando hay una ruptura en la red molecular del polisacárido, ya que la velocidad de cizallamiento de la pasta durante la

deformación es mayor que el reordenamiento de las moléculas, además de ser generada por la orientación de las moléculas en la dirección del flujo, que presenta una menor resistencia a las fuerzas de cizallamiento (Castillo et al., 2024).



**Figura 6.** Caracterización reológica del licor de cacao

Para describir adecuadamente el comportamiento reológico del licor de cacao, se evaluaron las curvas de viscosidad versus velocidad de corte (Figura 6) y de tensión de corte versus velocidad de corte (Figura 7). El licor de cacao exhibe un comportamiento de flujo no newtoniano debido a la presencia de una suspensión sólida de cacao dispersos dentro de la fase grasa (De Clercq et al., 2017). Es bien sabido que el licor de cacao no suele tener un comportamiento newtoniano, lo que también se confirmó en las muestras analizadas, todas las cuales exhibieron las características del fluido plástico de Casson. La reología del chocolate generalmente se cuantifica utilizando parámetros como el límite elástico ( $\tau_0$ ) y la índice de consistencia ( $k$ ) (Torregrossa et al., 2024). En el proceso de fabricación del licor, existen cuatro etapas fundamentales: mezclado, refinado, conchado y templado, y todas ellas influyen en las propiedades reológicas del chocolate. Sin embargo, las etapas más importantes en cuanto a las propiedades reológicas son el refinado y el conchado (Pombal et al., 2024).



**Figura 7.** Esfuerzo cortante en función de la velocidad de corte en licor de cacao

Para todas las muestras, la velocidad de corte aplicada resultó en una respuesta no lineal en términos de esfuerzo cortante (Figura 7) indicando que el licor de cacao se alineó con el flujo a medida que aumentaba la velocidad de corte, oponiendo así menos resistencia, razón por la cual las muestras de licor de cacao mostraron un comportamiento de adelgazamiento por corte. Los parámetros obtenidos según el modelo de Casson se presentan en la Tabla 6 y Anexos 5 y 6.

**Tabla 6.** Parámetros reológicos del modelo Casson de las muestras de licor de cacao

Tratamientos	$\tau_0$ (Pa)	$k$ (Pa.s)	$R^2$
T1 (90 °C / 30 min)	1,447 ± 0,144 <sup>a</sup>	0,968 ± 0,092 <sup>ab</sup>	0,9999
T2 (110 °C / 30 min)	1,494 ± 0,233 <sup>ab</sup>	0,962 ± 0,050 <sup>ab</sup>	0,9998
T3 (90 °C / 40 min)	1,650 ± 0,055 <sup>ab</sup>	0,893 ± 0,071 <sup>ab</sup>	0,9995
T4 (110 °C / 40 min)	1,530 ± 0,517 <sup>ab</sup>	0,793 ± 0,047 <sup>a</sup>	0,9997
T5 (95 °C / 35 min)	1,774 ± 0,154 <sup>ab</sup>	1,150 ± 0,090 <sup>b</sup>	0,9994
T6 (105 °C / 35 min)	1,817 ± 0,202 <sup>ab</sup>	1,055 ± 0,091 <sup>ab</sup>	0,9998
T7 (100 °C / 32,5 min)	2,412 ± 0,661 <sup>b</sup>	0,961 ± 0,115 <sup>ab</sup>	0,9996
T8 (100 °C / 37,5 min)	1,909 ± 0,051 <sup>ab</sup>	0,941 ± 0,122 <sup>ab</sup>	0,9997
T9 (100 °C / 35 min)	1,900 ± 0,039 <sup>ab</sup>	0,992 ± 0,050 <sup>ab</sup>	0,9998
T10 (100 °C / 35 min)	2,068 ± 0,465 <sup>ab</sup>	1,034 ± 0,196 <sup>ab</sup>	0,9994

Debido a la presencia de partículas sólidas en estado fundido, el licor de cacao exhibe flujo no newtoniano, lo que significa que la viscosidad cambia con el esfuerzo cortante (Vásquez et al., 2019). Este comportamiento se caracteriza por un esfuerzo de fluencia y una viscosidad plástica. El esfuerzo de fluencia es la cantidad de energía necesaria para iniciar el flujo, mientras que la energía para mantenerlo se expresa mediante la viscosidad plástica (De Graef et al., 2011).

El umbral de fluencia entre los diez tratamientos solo presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos T1 y T7 (Tabla 6), demostrando que la temperatura y tiempo de tostado no influyen en este parámetro. El esfuerzo de fluencia de Casson está influenciado por varios factores; contacto entre partículas, la cantidad y área superficial específica de las partículas, surfactante (emulsionante) y contenido de humedad (Syafiq et al., 2014). En consecuencia, tendría que aplicarse un tostado extremo en tiempo y temperatura para variar la humedad y afectar el umbral de fluencia.

El índice de consistencia de los tratamientos T4 y T5 (Tabla 6) fueron estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en los demás casos no fue significativo, y esta diferencia puede deberse a variaciones ligeras de temperatura en el baño maría al momento de realizar las mediciones. Este hecho demuestra que todos los tratamientos tienen la misma composición en cuanto se refiere al contenido de grasa, de lo contrario medida que aumenta el contenido de grasa, aumenta la distancia entre las partículas sólidas, por lo que la viscosidad disminuye (Pombal et al., 2024).

#### **4.3. Características sensoriales del licor de cacao**

Los resultados de la prueba sensorial se muestran en la Tabla 7 y Anexos 7 al 10. El análisis estadístico no reveló diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) en términos de color, olor, persistencia y aceptabilidad global según la prueba de Kruskal-Wallis. En el atributo color todos los tratamientos alcanzaron 7 puntos (Gusto moderado), el color es una de las propiedades fisicoquímicas más importantes de los granos de cacao tostados, ya que afecta la calidad de los productos derivados de este producto. El color marrón se prefiere al rojo violáceo. Este parámetro depende no solo del contenido de polifenoles, antocianos y sus derivados, sino también de la presencia de productos de la reacción de Maillard y de la dextrinización del almidón (Żyżelewicz. et al., 2014).

**Tabla 7.** Atributos sensoriales del licor de cacao

Describeme la siguiente tabla

Tratamientos	Color	Olor	Persistencia	Aceptabilidad Global
T1	6,6 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	5,4 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>
T2	6,6 <sup>a</sup>	6,5 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>
T3	6,9 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>
T4	6,8 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>
T5	6,7 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>
T6	7,0 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>
T7	6,9 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>
T8	6,7 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a</sup>
T9	6,9 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>
T10	7,0 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>

En cuanto al olor los tratamientos T1, T5 y T7 alcanzaron un puntaje de 6 (Gusto leve) los demás tratamientos alcanzaron 7 puntos (Gusto moderado), no haber alcanzado mejores puntajes podría deberse a uno de los principales factores que influyen en la formación del aroma, el contenido químico y los compuestos bioactivos de los granos de cacao es el proceso de fermentación (Septianti et al., 2020).

La persistencia se refiere a la duración del sabor y aromas en la boca, indicando la calidad del licor de cacao. Nueve tratamientos alcanzaron 6 puntos de persistencia (Gusto leve) y solo el tratamiento T1 alcanzó 5 puntos (Ni gusta ni disgusta), Li y James (2021) descubrieron que la persistencia de los compuestos de sabor en la boca puede prolongarse mediante un aumento de la viscosidad del bolo de chocolate.

#### 4.4. Parámetros óptimos para el tostado de cacao

Es necesario considerar que un tostado inadecuado de los granos podría generar compuestos indeseables a partir de los fenoles presentes, por lo tanto, es importante optimizar la relación tiempo/temperatura en este proceso, ya que altas temperaturas se asocian con pérdida del contenido polifenólico. La Tabla 8 y los Anexos 11 al 19 muestran los modelos matemáticos para predecir los compuestos bioactivos, propiedades reológicas y sensoriales entre 90 a 110 °C.



**Tabla 8.** Modelos matemáticos para predecir los compuestos bioactivos, propiedades reológicas y sensoriales entre 90 a 110 °C

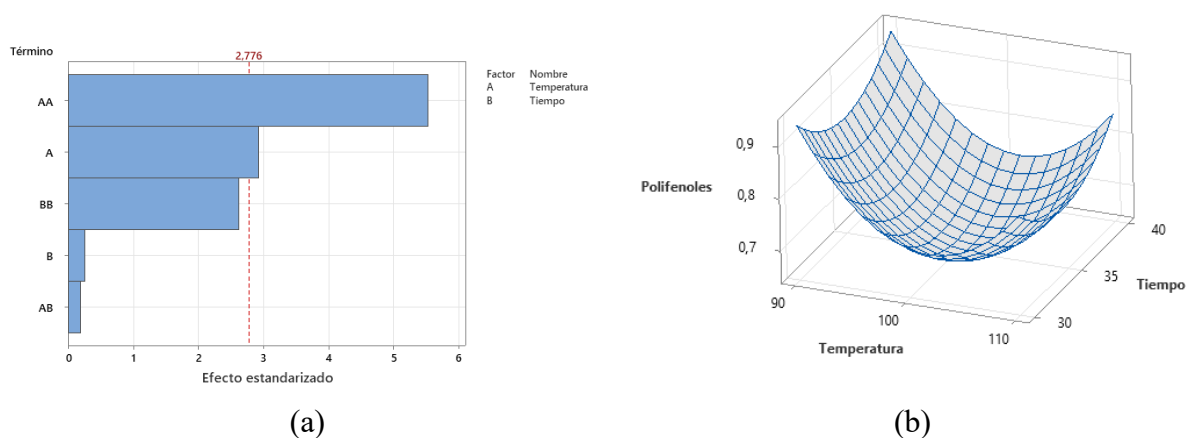
<b>Variables respuesta</b>	<b>Modelos</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup><sub>A</sub></b>	<b>p</b>
<b>Compuestos bioactivos</b>				
Polifenoles	$Y_1 = 20,18 - 0,309X_1 - 0,2193X_2 + 0,001506X_1^2 + 0,00303X_2^2 + 0,000081X_1X_2$	0,950	0,813	0,028*
Antocianinas	$Y_2 = 1,523 - 0,01954X_1 - 0,298X_2 + 0,000096X_1^2 + 0,000437X_2^2 + 0,000004X_1X_2$	0,795	0,539	0,148
Capacidad antioxidante	$Y_3 = 353,2 - 5,553X_1 - 2,82X_2 + 0,02722X_1^2 + 0,0422X_2^2 - 0,001X_1X_2$	0,962	0,915	0,006*
<b>Propiedades reológicas</b>				
Umbral de fluencia	$Y_4 = -51,5 + 0,968X_1 + 0,308X_2 - 0,0047X_1^2 - 0,00331X_2^2 - 0,00083X_1X_2$	0,672	0,261	0,327
Índice de consistencia	$Y_5 = -9,26 + 0,072X_1 + 0,402X_2 - 0,000292X_1^2 - 0,00515X_2^2 - 0,00047X_1X_2$	0,611	0,126	0,424
<b>Características sensoriales</b>				
Color	$Y_6 = -8,1 + 0,17X_1 + 0,348X_2 - 0,00077X_1^2 - 0,00426X_2^2 - 0,00035X_1X_2$	0,382	0,000	0,771
Olor	$Y_7 = -3,3 + 0,182X_1 - 0,015X_2 - 0,00089X_1^2 + 0,00057X_2^2 - 0,0001X_1X_2$	0,695	0,313	0,291
Persistencia	$Y_8 = -28,9 + 0,52X_1 + 0,464X_2 - 0,00226X_1^2 - 0,00389X_2^2 - 0,0017X_1X_2$	0,717	0,364	0,256
Aceptabilidad global	$Y_9 = -15,0 + 0,42X_1 - 0,022X_2 - 0,00211X_1^2 + 0,00001X_2^2 - 0,0003X_1X_2$	0,649	0,210	0,363

R<sup>2</sup><sub>A</sub> = R<sup>2</sup> Ajustado, p = p valor; X<sub>1</sub> = Temperatura de tostado, X<sub>2</sub> = Tiempo de tostado

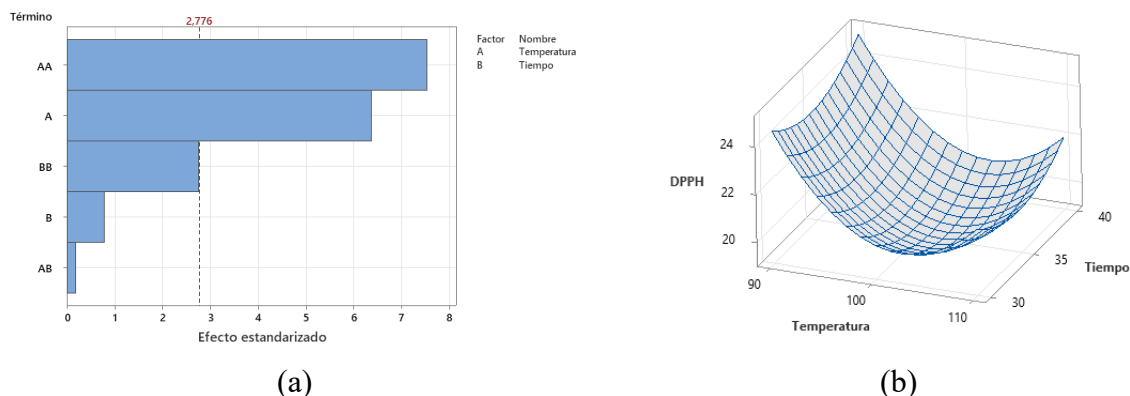
El análisis de varianza de los modelos de regresión cuadrática (Tabla 8) indicó que los valores de probabilidad (p) de la significancia de los modelos de polifenoles y capacidad antioxidante fueron significativos ( $p < 0,05$ ), por lo tanto, estos dos modelos desarrollados podrían representar adecuadamente la relación real entre los parámetros elegidos (Guan & Yao, 2008), los modelos de antocianinas, propiedades reológicas y análisis sensorial fueron no significativos ( $p > 0,05$ ).

Según Nader et al. (2016), reportaron que el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_A$ ) (Tabla 8) debe ser al menos del 80% para obtener un buen ajuste del modelo, según este criterio se puede reafirmar que los únicos modelos que cumplen siguen siendo polifenoles y capacidad antioxidante, lo que indicó que los modelos de segundo orden de regresiones múltiples podrían usarse para explicar la relación funcional entre los parámetros de proceso y respuesta.

A continuación, se aclararán los efectos lineales, cuadráticos y de interacción significativos con un nivel de confianza del 95% (nivel de riesgo del 5%) mediante los diagramas de Pareto (Figura 8a y 9a). Las superficies de respuesta se ilustrarán como gráficos tridimensionales (3D) presentando la respuesta estudiada como una función de dos variables temperatura y tiempo de tostado, las superficies de respuesta (Figura 8b y 9b) se utilizarán para visualizar la variación cuantitativa de los parámetros de respuesta con las variables de estudio, para representar las interacciones significativas, si las hubiera, y para predecir las respuestas dentro de un rango elegido de parámetros (Nader et al., 2016).



**Figura 8.** Optimización de polifenoles totales (a) Diagrama de Pareto estandarizado, (b) Tendencia de la superficie de respuesta estimada



**Figura 9.** Optimización de la capacidad antioxidante (a) Diagrama de Pareto estandarizado, (b) Tendencia de la superficie de respuesta estimada

Los modelos de superficie de respuesta para maximizar la conservación polifenoles totales y capacidad antioxidante muestran superficies cóncavas hacia arriba en forma de U o valle, esto indica que el modelo predice un punto mínimo en lugar de un máximo, esto es debido a que los coeficientes de los términos cuadráticos son positivos en el modelo (Ecuaciones 8 y 9). En consecuencia el punto crítico que se visualiza en la superficie es un mínimo no un máximo y la respuesta aumenta indefinidamente al alejarse del centro. Una de las principales causas de este comportamiento puede deberse a un rango de factores demasiado estrecho, es decir, los niveles experimentales no cubren la región donde ocurre el máximo y el modelo solo ve la parte ascendente de la curva, al respecto Hurtado-Soria et al. (2025) realizaron optimización del proceso de tostado de cacao para maximizar el contenido de fenólicos y la capacidad antioxidante mediante el método de superficie de respuesta en la cual su rango de factores respecto a la temperatura entre 100 a 120 °C y el tiempo entre 10 a 30 minutos encontrando que los parámetros óptimos de tostado fueron 130 °C por 11 minutos y 127 °C por 11 minutos, estos valores óptimos están muy lejos de nuestros parámetros de estudio respecto a la temperatura que fue de 90 a 110 °C.

$$Y_1 = 20,18 - 0,309X_1 - 0,2193X_2 + 0,001506X_1^2 + 0,00303X_2^2 + 0,000081X_1X_2 \quad (8)$$

$$Y_3 = 353,2 - 5,553X_1 - 2,82X_2 + 0,02722X_1^2 + 0,0422X_2^2 - 0,001X_1X_2 \quad (9)$$

El proceso de tostado es fundamental en la poscosecha, ya que afecta de manera considerable la composición química de los granos de cacao. A lo largo del tostado, la descomposición térmica de los polifenoles y la creación de productos a través de la reacción de

Maillard afectan tanto la capacidad antioxidante como el perfil de sabor del cacao (Oracz et al., 2015).

El contenido polifenólico no sigue una tendencia respecto a la variación de temperatura y tiempo de tostado en el rango de estudio. El tostado induce la oxidación de compuestos fenólicos y una disminución del contenido total de polifenoles (Tunjung et al., 2025). Generalmente, tostar los granos de cacao resulta en la reducción de polifenoles. Sin embargo, tostar a mayor temperatura, resulta en la conversión de (-)-epicatequina a (+)-catequina en una reacción de epimerización. Esto podría haber explicado formación de la superficie concava hacia arriba (Asiedu et al., 2025).

## V. CONCLUSIONES

- Existieron diferencias significativas en el contenido de polifenoles, antocianinas y en la capacidad antioxidante entre los tratamientos evaluados; sin embargo, no se observó una tendencia definida que permita establecer un patrón de comportamiento.
- El análisis de los parámetros de tostado reveló diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, no se identificó un patrón o tendencia clara en las propiedades reológicas, específicamente en el índice de consistencia y el umbral de fluencia.
- Los modelos de regresión cuadrática demostraron presentar el mejor ajuste a los datos experimentales. Si bien los modelos obtenidos para el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante resultaron estadísticamente significativos, estos no permitieron establecer un punto de optimización para el contenido de polifenoles totales, debido a la limitada amplitud del rango estudiado en los factores de temperatura y tiempo de tostado.
- El análisis sensorial demostró que todos los tratamientos (T1-T10) presentaron una aceptabilidad satisfactoria, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. No obstante, se observaron variaciones numéricas que permiten identificar tendencias en el desempeño sensorial de las muestras.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Realizar estudios de incidencia de temperatura a tiempo de tostado en un rango más amplio, según estudios similares temperatura entre 90 a 150 °C y tiempo entre 10 a 50 min.
- Para estudios similares realizar el estudio desde la cosecha, proceso de fermentación y secado, de esta manera garantizar la uniformidad de la muestra durante el tostado y evitar la variabilidad debido a estas operaciones.

## VII. REFERENCIAS

- Aguilera, J. M., & Stanley, D. W. (1999). *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering*. <https://link.springer.com/book/9780834212565>
- Aprotosoai, 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>
- Asiedu, B. K., Afoakwa, E. O., Osei Tutu, C., Obeng, R., Kortei, N. K., Akonor, P. T., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2025). Effect of roasting on flavonoids, phenolics, and antioxidant activity of industrial-pulped and fermented cocoa beans. *Food Chemistry Advances*, *6*, 100925. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100925>
- Becerra, L. D., Quintanilla-Carvajal, M. X., Escobar, S., & Ruiz Pardo, R. Y. (2024). From controlled transformed cocoa beans to chocolate: Bioactive properties, metabolomic profile, and *in vitro* bioaccessibility. *Food Chemistry*, *433*, 137321. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137321>
- Bengtsson, G. B., & Hagen, S. F. (2008). 16—Storage and handling of fruit and vegetables for optimum health-related quality. En F. A. Tomás-Barberán & M. I. Gil (Eds.), *Improving the Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetable Products* (pp. 412-430). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845694289.4.412>
- Betancourt-Sambony, F., Barrios-Rodríguez, Y. F., Medina-Orjuela, M. E., Gutiérrez-Guzmán, N., Amorocho-Cruz, C. M., Carranza, C., & Girón-Hernández, J. (2025). Relationship between physicochemical properties of roasted cocoa beans and climate patterns: Quality and safety implications. *LWT*, *216*, 117320. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117320>
- Bordiga, M., Locatelli, M., Travaglia, F., Coisson, J. D., Mazza, G., & Arlorio, M. (2015). Evaluation of the effect of processing on cocoa polyphenols: Antiradical activity, anthocyanins and procyanidins profiling from raw beans to chocolate. *International Journal of Food Science and Technology*, *50*(3), 840-848. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12760>
- Brookfield. (2010). *Programmable Rheometer / Operating Instructions / Manual No. M98-211-E0912*. <http://www.brookfieldengineering.com/>
- Calva-Estrada, S. J., Utrilla-Vázquez, M., Vallejo-Cardona, A., Roblero-Pérez, D. B., & Lugo-Cervantes, E. (2020). Thermal properties and volatile compounds profile of commercial dark-chocolates from different genotypes of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from

- Latin America. *Food Research International*, 136, 109594. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109594>
- Carpenter, R. P., Lyon, D. H., & Hasdell, T. A. (2000). What Is Sensory Analysis Used for? En R. P. Carpenter, D. H. Lyon, & T. A. Hasdell (Eds.), *Guidelines for Sensory Analysis in Food Product Development and Quality Control* (pp. 1-11). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4447-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4447-0_1)
- Carson, J. K., Wang, J., North, M. F., & Cleland, D. J. (2016). Effective thermal conductivity prediction of foods using composition and temperature data. *Journal of Food Engineering*, 175, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.006>
- Castillo, P. M., Zuñiga, K. V., & Alvarez, D. C. (2024). Evaluation of Quality Attributes and Rheological Behavior of Tahini with Addition of Natural Sweetener and Cocoa Liquor. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 12(2), 634-644.
- CBI. (2024). *The European market potential for speciality cocoa*. CBI Ministry of Foreign Affairs. <https://www.cbi.eu/market-information/cocoa-cocoa-products/speciality-cocoa/market-potential>
- Cinar, Z. Ö., Atanassova, M., Tumer, T. B., Caruso, G., Antika, G., Sharma, S., Sharifi-Rad, J., & Pezzani, R. (2021). Cocoa and cocoa bean shells role in human health: An updated review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103, 104115. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104115>
- Dand, R. (2011). 9—Cocoa bean processing and the manufacture of chocolate. En R. Dand (Ed.), *The International Cocoa Trade (Third Edition)* (pp. 268-289). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-125-3.50009-4>
- De Clercq, N., Kadivar, S., Van de Walle, D., De Pelsmaeker, S., Ghelleync, X., & Dewettinck, K. (2017). Functionality of cocoa butter equivalents in chocolate products. *European Food Research and Technology*, 243(2), 309-321. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2745-6>
- De Graef, V., Depypere, F., Minnaert, M., & Dewettinck, K. (2011). Chocolate yield stress as measured by oscillatory rheology. *Food Research International*, 44(9), 2660-2665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.009>
- Dini, C., Zaro, M. J., & Viña, S. Z. (2019). Bioactivity and Functionality of Anthocyanins: A Review. [Http://Www.Eurekaselect.Com](http://Www.Eurekaselect.Com). <https://www.eurekaselect.com/article/92550>
- El Sheikha, A. F. (2021). 1 - Food authentication: Introduction, techniques, and prospects. En C. M. Galanakis (Ed.), *Food Authentication and Traceability* (pp. 1-34). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821104-5.00006-4>

- Febrianto, N. A., & Zhu, F. (2019). Intravariety Diversity of Bioactive Compounds in Trinitario Cocoa Beans with Different Degrees of Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(11), 3150-3158. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06418>
- 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>
- GAIA CACAO. (2021). *Global Cocoa Market Study*. <https://thechocolatelife.com/content/files/2022/01/Global-Cocoa-Market-Study-Report.pdf>
- Galanakis, C. M. (2017). Chapter 1—Introduction. En C. M. Galanakis (Ed.), *Nutraceutical and Functional Food Components* (pp. 1-14). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805257-0.00001-6>
- García, P. G. A., Santos, J. A. dos, Carvalho, M. R. de, Pinzón-Sandoval, E. H., Pereira, A. A. S., & Guilherme, L. R. G. (2025). Addressing Cadmium in Cacao Farmland: A Path to Safer, Sustainable Chocolate. *Agriculture*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040433>
- Guan, X., & Yao, H. (2008). Optimization of Viscozyme L-assisted extraction of oat bran protein using response surface methodology. *Food Chemistry*, 106(1), 345-351. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.041>
- Gültekin-Özğüven, M., Berktaş, I., & Özçelik, B. (2016). Change in stability of procyanidins, antioxidant capacity and *in-vitro* bioaccessibility during processing of cocoa powder from cocoa beans. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.065>
- Guzmán-Armenteros, T. M., Ruales, J., Cuesta-Plúa, C., Bravo, J., Sinche, M., Vera, E., Vera, E., Vargas-Jentzsch, P., Ciobotă, V., Ortega-Ojeda, F. E., Proaño, A., Echeverría, A., & Ramos-Guerrero, L. (2023). Raman Spectroscopic and Sensory Evaluation of Cocoa Liquor Prepared with Ecuadorian Cocoa Beans Treated with Gamma Irradiation or Induced Electromagnetic Field Fermentation. *Foods*, 12(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/foods12213924>
- Hamzalıoğlu, A., & Gökmen, V. (2016). Chapter 18—Interaction between Bioactive Carbonyl Compounds and Asparagine and Impact on Acrylamide. En V. Gökmen (Ed.), *Acrylamide in Food* (pp. 355-376). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802832-2.00018-8>

- Herrera-Rocha, F., Fernández-Niño, M., Cala, M. P., Duitama, J., & Barrios, A. F. G. (2023). Omics approaches to understand cocoa processing and chocolate flavor development: A review. *Food Research International*, *165*, 112555. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112555>
- Hibbert, D. B. (2009). 4.12—Chemometric Analysis of Sensory Data. En S. D. Brown, R. Tauler, & B. Walczak (Eds.), *Comprehensive Chemometrics* (pp. 377-424). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452701-1.00010-7>
- 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>
- Hurtado-Soria, B. Z., Villanueva, E., Chire-Fajardo, G. C., & Ureña-Peralta, M. O. (2025). Optimization of cocoa roasting process using static tray and rotary drum to maximize phenolics content and antioxidant capacity by response surface method. *Journal of Agriculture and Food Research*, *19*, 101622. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101622>
- Jiang, Z., Han, Z., Wen, M., Ho, C.-T., Wu, Y., Wang, Y., Xu, N., Xie, Z., Zhang, J., Zhang, L., & Wan, X. (2022). Comprehensive comparison on the chemical metabolites and taste evaluation of tea after roasting using untargeted and pseudotargeted metabolomics. *Food Science and Human Wellness*, *11*(3), 606-617. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.12.017>
- Lee, K. W., Kim, Y. J., Lee, H. J., & Lee, C. Y. (2003). Cocoa Has More Phenolic Phytochemicals and a Higher Antioxidant Capacity than Teas and Red Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(25), 7292-7295. <https://doi.org/10.1021/jf0344385>
- Li, Y., & James, B. (2021). Oral processing preference affects flavor perception in dark chocolate with added ingredients. *Journal of Food Science*, *86*(1), 177-183. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15557>
- Liu, M., Liu ,Jianbin, He ,Congcong, Song ,Huanlu, Liu ,Ye, Zhang ,Yu, Wang ,Ye, Guo ,Jia, Yang ,Haiying, & and Su, X. (2017). Characterization and comparison of key aroma-active compounds of cocoa liquors from five different areas. *International Journal of Food Properties*, *20*(10), 2396-2408. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1238929>
- Mahfoudhi, N., Ksouri, R., & Hamdi, S. (2016). 11 - Nanoemulsions as potential delivery systems for bioactive compounds in food systems: Preparation, characterization, and

- applications in food industry. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Emulsions* (pp. 365-403). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804306-6.00011-8>
- Martin, M. Á., & Ramos, S. (2021). Impact of cocoa flavanols on human health. *Food and Chemical Toxicology*, *151*, 112121. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112121>
- Mehmood, A., Usman, M., Patil, P., Zhao, L., & Wang, C. (2020). A review on management of cardiovascular diseases by olive polyphenols. *Food Science & Nutrition*, *8*(9), 4639-4655. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1668>
- 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)
- Molina-García, L., Llorent-Martínez, E., & Fernández-de Córdova, M. (2018). *Analytical methodologies for the assessment of polyphenols in cocoa and cocoa products*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/326149583\\_Analytical\\_methodologies\\_for\\_the\\_assessment\\_of\\_polyphenols\\_in\\_cocoa\\_and\\_cocoa\\_products](https://www.researchgate.net/publication/326149583_Analytical_methodologies_for_the_assessment_of_polyphenols_in_cocoa_and_cocoa_products)
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, *89*(5), 380-386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Mühlbauer, W., & Müller, J. (2020). Cocoa (*Theobroma cacao* L.). En W. Mühlbauer & J. Müller (Eds.), *Drying Atlas* (pp. 239-245). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818162-1.00028-6>
- Nader, J., Afif, C., & Louka, N. (2016). Study of physiological and textural properties of roasted peanuts defatted by an innovative oil extraction process. Correlation with consumer evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *33*, 450-461. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.007>
- Oracz, J., Zyzewicz, Dorota, & Nebesny, E. (2015). The Content of Polyphenolic Compounds in Cocoa Beans (*Theobroma cacao* L.), Depending on Variety, Growing Region, and Processing Operations: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*(9), 1176-1192. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.686934>
- Palma-Orozco, G., Orozco-Álvarez, C., Chávez-Villeda, A. A., Mixtega-Martínez, A., & Castro-Muñoz, R. (2021). Capsaicin content in red habanero chilli (*Capsicum chinense* Jacq.) and its preservation after drying process. *Future Foods*, *4*, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100070>

- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Pathmanathan, U. (2018). Taxonomy and classification of cacao. En *Taxonomy and classification of cacao*. <https://doi.org/10.19103/AS.2017.0021.01>
- Pohlmann, A., Grijalva, D., Noboa, F., & Andrango, J. (2022). Paragons of sustainability: Transforming luxury markets through value-in-impact. Insights from an Ecuadorian artisan chocolate case study. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*, 25(1), 103-126. <https://doi.org/10.1108/JRME-01-2022-0009>
- Pombal, M., Marcet, I., Rendueles, M., & Diaz, M. (2024). Emulsifiers: Their Influence on the Rheological and Texture Properties in an Industrial Chocolate. *Molecules*, 29(21), 5185. Food Science Source. <https://doi.org/10.3390/molecules29215185>
- Pradas-Baena, I., Moreno-Rojas, J. M., & Luque de Castro, M. D. (2015). Chapter 1—Effect of Processing on Active Compounds in Fresh-Cut Vegetables. En V. Preedy (Ed.), *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 3-10). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00001-9>
- Puchol-Miquel, M., Palomares, C., Barat, J. M., & Perez-Estevé, É. (2021). Formulation and physico-chemical and sensory characterisation of chocolate made from reconstituted cocoa liquor and high cocoa content. *LWT*, 137, 110492. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110492>
- Puertas-Mejía, M. A., Ríos-Yepes, Y., & Benjamin, A. R. (2013). Determination of anthocyanins by microwave assisted extraction in beans (*Phaseolus vulgaris* L.) commonly consumed in Antioquia, Colombia. *ResearchGate*, 18(2), 288-297.
- 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:
- Ramli, N., Hassan, O., Said, M., Samsudin, W., & Idris, N. A. (2006). Influence of Roasting Conditions on Volatile Flavor of Roasted Malaysian Cocoa Beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(3), 280-298. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00065.x>
- 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>
- Saura-Calixto, F., Serrano, J., & Pérez-Jiménez, J. (2009). 42—What Contribution Is Beer to the Intake of Antioxidants in the Diet? En V. R. Preedy (Ed.), *Beer in Health and*

- Disease Prevention* (pp. 441-448). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373891-2.00042-0>
- Septianti, E., Salengke, & Langkong, J. (2020). Profile of bioactive compounds, antioxidant and aromatic component from several clones of cocoa beans during fermentation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012009>
- 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>
- Silveira, P. T. de S., Rodrigues, E. P., Ribeiro, A. P. B., Braga, A. V. U., Martins, M. O. P., & Efraim, P. (2025). Composition and physicochemical properties of cocoa butter and cocoa liquor from two varieties obtained at different harvesting times. *Journal of Food Composition and Analysis*, 139, 107122. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.107122>
- Singh, P. K., Khedkar, R. D., & Chandra, S. (2024). Chocolate: An overview of functional potential and recent trends in fortification. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, e2023118. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.11823>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Suazo, Y., Davidov-Pardo, G., & Arozarena, I. (2014). Effect of Fermentation and Roasting on the Phenolic Concentration and Antioxidant Activity of Cocoa from Nicaragua. *Journal of Food Quality*, 37(1), 50-56. <https://doi.org/10.1111/jfq.12070>
- Suleman, R., Choudhary, H., Waseem, M., Alshammari, J. M., Muzamil, M., Liu, H., Ismail, T., Khan, M. A., Qamar, M., & Osei Tutu, C. (2025). Nutritional and antioxidative characterization, antimicrobial and sensorial stability of flaxseed powder supplemented mutton patties. *Food Chemistry: X*, 25, 102098. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.102098>
- Syafiq, A., Amir, I. Z., & Sharon, W. X. R. (2014). Mixture experiment on rheological properties of dark chocolate as influenced by cocoa butter substitution with xanthan gum/corn starch/glycerin blends. *International Food Research Journal*, 21(5), 1887-1892. Food Science Source.
- Tamrin, Harijono, Sudarminto Setyo Yuwono, Teti Estiasih, & Umar Santoso. (2012). Various Temperature of Vacuum and Conventional Roasting on Color Alteration and

- Polyphenols Content of Cocoa Powder. *Journal of Food Science and Engineering*, 2(11). <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2012.11.004>
- Tan, Z., Lu, D., Yu, Y., Li, L., Dong, W., Xu, L., Yang, Q., Wan, X., & Liang, H. (2023). Genome-Wide Identification and Characterization of the bHLH Gene Family and Its Response to Abiotic Stresses in *Carthamus tinctorius*. *Plants*, 12(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/plants12213764>
- Thilakarathna, R. C. N., Siow, L. F., Tang, T.-K., Cheong, L.-Z., & Lee, Y.-Y. (2025). Mahua oil fraction: A sustainable and functional 1,3-dipalmitoyl-2-oleoylglycerol (POS)-enriched cocoa butter equivalent for chocolate production. *Food Chemistry*, 477, 143564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143564>
- Torregrossa, F., Cinquanta, L., Albanese, D., Cuomo, F., Librici, C., Lo Meo, P., & Conte, P. (2024). Vegan and sugar-substituted chocolates: Assessing physicochemical characteristics by NMR relaxometry, rheology, and DSC. *European Food Research and Technology*, 250(4), 1219-1228. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04457-w>
- Tunjung, S. A. B., Efrain, P., Song, X., Rothkopf, I., Schweiggert-Weisz, U., Schieber, A., & Gola, S. (2025). Effects of processing methods of unfermented cocoa beans from Indonesia on the chemical and physical characteristics of butter and cake. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101563. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101563>
- Vásquez, C., Henríquez, G., López, J. V., Penott-Chang, E. K., Sandoval, A. J., & Müller, A. J. (2019). The effect of composition on the rheological behavior of commercial chocolates. *LWT*, 111, 744-750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.101>
- Wang, L., Wang, H., Liu, D., Han, Z., & Fan, J. (2024). A review of the polyphenols purification from apple products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(21), 7397-7407. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2185199>
- Yeop, A., Sandanasamy, J., Pang, S. F., & Gim bun, J. (2021). Stability and controlled release enhancement of *Labisia pumila*'s polyphenols. *Food Bioscience*, 41, 101025. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101025>
- Zhang, Z., Li, X., Sang, S., McClements, D. J., Chen, L., Long, J., Jiao, A., Jin, Z., & Qiu, C. (2022). Polyphenols as Plant-Based Nutraceuticals: Health Effects, Encapsulation, Nano-Delivery, and Application. *Foods*, 11(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/foods11152189>
- Żyżelewicz, D., Budryn, G., Krysiak, W., Oracz, J., Nebesny, E., & Bojczuk, M. (2014). Influence of roasting conditions on fatty acid composition and oxidative changes of

cocoa butter extracted from cocoa bean of Forastero variety cultivated in Togo. *Food Research International*, 63, 328-343. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.053>

Żyżelewicz, D., Wiesława, K., Ewa Nebesny, & Budryn, G. (2014). Application of various methods for determination of the color of cocoa beans roasted under variable process parameters. *European Food Research and Technology*, 238(4), 549-563. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2123-6>

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Formato de escala hedónica de 9 puntos**PRUEBA SENSORIAL DE ESCALA HEDÓNICA  
LICOR DE CACAONombre  
09/07/2024

Fecha

Observe y pruebe cada muestra de licor de cacao, indique el grado en que le gusta o le disgusta cada muestra, haciendo una marca en la celda correspondiente en cada tratamiento. Escala hedónica basada en Kissiedu et al. (2020)

## COLOR

Escala	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
9. Gusta extremadamente										
8. Gusta mucho										
7. Gusto moderado										
6. Gusto leve										
5. ni gusta ni disgusta										
4. Disgusto leve										
3. Disgusto moderado										
2. Disgusta mucho										
1. Disgusto extremo										

## OLOR

Escala	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
9. Gusta extremadamente										
8. Gusta mucho										
7. Gusto moderado										
6. Gusto leve										
5. ni gusta ni disgusta										
4. Disgusto leve										
3. Disgusto moderado										
2. Disgusta mucho										
1. Disgusto extremo										

## PERSISTENCIA

Escala	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
9. Gusta extremadamente										
8. Gusta mucho										
7. Gusto moderado										
6. Gusto leve										
5. ni gusta ni disgusta										
4. Disgusto leve										
3. Disgusto moderado										
2. Disgusta mucho										
1. Disgusto extremo										

## ACEPTABILIDAD GLOBAL

Escala	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
9. Gusta extremadamente										
8. Gusta mucho										
7. Gusto moderado										
6. Gusto leve										
5. ni gusta ni disgusta										
4. Disgusto leve										
3. Disgusto moderado										
2. Disgusta mucho										
1. Disgusto extremo										

Comentarios:

---



---

## Anexo 2. Contenido de polifenoles totales

### Resumen Estadístico para Polifenoles

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
M1	3	0,943824	0,0141436	1,49854%	0,92968	0,957967
M2	3	0,838757	0,0152545	1,8187%	0,824614	0,854921
M3	3	0,911496	0,0152545	1,67357%	0,897352	0,92766
M4	3	0,822593	0,0152545	1,85444%	0,80845	0,838757
M5	3	0,873106	0,0152545	1,74715%	0,858962	0,88927
M6	3	0,768713	0,00911098	1,18522%	0,759958	0,778142
M7	3	0,709445	0,0126181	1,77858%	0,695301	0,719547
M8	3	0,802388	0,0152545	1,90114%	0,788245	0,818552
M9	3	0,63536	0,00508483	0,800308%	0,630645	0,640748
M10	3	0,734364	0,0111281	1,51534%	0,723588	0,745814

### Tabla ANOVA para Polifenoles por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,242738	9	0,0269709	153,64	0,0000
Intra grupos	0,00351091	20	0,000175546		
Total (Corr.)	0,246249	29			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M9	3	0,63536	X
M7	3	0,709445	X
M10	3	0,734364	XX
M6	3	0,768713	XX
M8	3	0,802388	XX
M4	3	0,822593	X
M2	3	0,838757	XX
M5	3	0,873106	X
M3	3	0,911496	X
M1	3	0,943824	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
M1 – M10	*	0,209459	0,0383183
M1 – M2	*	0,105066	0,0383183
M1 – M3		0,0323281	0,0383183
M1 – M4	*	0,121231	0,0383183
M1 – M5	*	0,0707178	0,0383183
M1 – M6	*	0,175111	0,0383183
M1 – M7	*	0,234379	0,0383183
M1 – M8	*	0,141436	0,0383183
M1 – M9	*	0,308464	0,0383183

M10 – M2	*	-0,104393	0,0383183
M10 – M3	*	-0,177131	0,0383183
M10 – M4	*	-0,0882289	0,0383183
M10 – M5	*	-0,138742	0,0383183
M10 – M6		-0,0343486	0,0383183
M10 – M7		0,0249196	0,0383183
M10 – M8	*	-0,0680238	0,0383183
M10 – M9	*	0,0990049	0,0383183
M2 – M3	*	-0,0727383	0,0383183
M2 – M4		0,0161641	0,0383183
M2 – M5		-0,0343486	0,0383183
M2 – M6	*	0,0700443	0,0383183
M2 – M7	*	0,129313	0,0383183
M2 – M8		0,0363692	0,0383183
M2 – M9	*	0,203398	0,0383183
M3 – M4	*	0,0889024	0,0383183
M3 – M5	*	0,0383897	0,0383183
M3 – M6	*	0,142783	0,0383183
M3 – M7	*	0,202051	0,0383183
M3 – M8	*	0,109107	0,0383183
M3 – M9	*	0,276136	0,0383183
M4 – M5	*	-0,0505127	0,0383183
M4 – M6	*	0,0538802	0,0383183
M4 – M7	*	0,113148	0,0383183
M4 – M8		0,0202051	0,0383183
M4 – M9	*	0,187234	0,0383183
M5 – M6	*	0,104393	0,0383183
M5 – M7	*	0,163661	0,0383183
M5 – M8	*	0,0707178	0,0383183
M5 – M9	*	0,237746	0,0383183
M6 – M7	*	0,0592682	0,0383183
M6 – M8		-0,0336751	0,0383183
M6 – M9	*	0,133354	0,0383183
M7 – M8	*	-0,0929434	0,0383183
M7 – M9	*	0,0740853	0,0383183
M8 – M9	*	0,167029	0,0383183

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 3. Antocianinas totales

#### Resumen Estadístico para Antocianinas

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>
M1	3	0,0314023	0,00718826	22,8909%	0,0240528
M10	3	0,00957659	0,00751712	78,4948%	0,0020044
M2	3	0,0256118	0,00653213	25,5044%	0,0193759
M3	3	0,0302887	0,00684905	22,6125%	0,0233847
M4	3	0,0236074	0,00751712	31,8422%	0,0160352
M5	3	0,0249437	0,00751712	30,1364%	0,0173715
M6	3	0,00946523	0,00738985	78,0737%	0,00167034
M7	3	0,0116923	0,00505535	43,2364%	0,00768354
M8	3	0,0279503	0,00425635	15,2283%	0,0230506
M9	3	0,00679269	0,006217	91,5248%	0,0010022

Tabla ANOVA para Antocianinas por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,00249277	9	0,000276975	6,19	0,0003
Intra grupos	0,00089541	20	0,0000447705		
Total (Corr.)	0,00338818	29			

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Antocianinas por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M9	3	0,00679269	X
M6	3	0,00946523	XX
M10	3	0,00957659	XX
M7	3	0,0116923	XXX
M4	3	0,0236074	XXXX
M5	3	0,0249437	XXXX
M2	3	0,0256118	XXXX
M8	3	0,0279503	XXX
M3	3	0,0302887	XX
M1	3	0,0314023	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
M1 - M10	*	0,0218257	0,0193512
M1 - M2		0,00579049	0,0193512
M1 - M3		0,00111356	0,0193512
M1 - M4		0,00779489	0,0193512
M1 - M5		0,00645863	0,0193512
M1 - M6	*	0,0219371	0,0193512
M1 - M7	*	0,0197099	0,0193512
M1 - M8		0,00345203	0,0193512
M1 - M9	*	0,0246096	0,0193512

M10 - M2		-0,0160352	0,0193512
M10 - M3	*	-0,0207121	0,0193512
M10 - M4		-0,0140308	0,0193512
M10 - M5		-0,0153671	0,0193512
M10 - M6		0,000111356	0,0193512
M10 - M7		-0,00211576	0,0193512
M10 - M8		-0,0183737	0,0193512
M10 - M9		0,00278389	0,0193512
M2 - M3		-0,00467694	0,0193512
M2 - M4		0,0020044	0,0193512
M2 - M5		0,000668134	0,0193512
M2 - M6		0,0161466	0,0193512
M2 - M7		0,0139195	0,0193512
M2 - M8		-0,00233847	0,0193512
M2 - M9		0,0188191	0,0193512
M3 - M4		0,00668134	0,0193512
M3 - M5		0,00534507	0,0193512
M3 - M6	*	0,0208235	0,0193512
M3 - M7		0,0185964	0,0193512
M3 - M8		0,00233847	0,0193512
M3 - M9	*	0,023496	0,0193512
M4 - M5		-0,00133627	0,0193512
M4 - M6		0,0141422	0,0193512
M4 - M7		0,0119151	0,0193512
M4 - M8		-0,00434287	0,0193512
M4 - M9		0,0168147	0,0193512
M5 - M6		0,0154784	0,0193512
M5 - M7		0,0132513	0,0193512
M5 - M8		-0,0030066	0,0193512
M5 - M9		0,018151	0,0193512
M6 - M7		-0,00222711	0,0193512
M6 - M8		-0,018485	0,0193512
M6 - M9		0,00267254	0,0193512
M7 - M8		-0,0162579	0,0193512
M7 - M9		0,00489965	0,0193512
M8 - M9	*	0,0211576	0,0193512

\* indica una diferencia significativa.

#### Anexo 4. Capacidad antioxidante (DPPH)

##### Resumen Estadístico para DPPH

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
M1	3	24,9397	0,219411	0,879763%	24,714	25,1522
M10	3	20,7435	0,478609	2,30728%	20,2521	21,2082
M2	3	21,8988	0,478609	2,18555%	21,4074	22,3636
M3	3	24,8999	0,271172	1,08905%	24,5945	25,1124
M4	3	21,6597	0,478609	2,20967%	21,1684	22,1245
M5	3	23,3462	0,271172	1,16152%	23,0408	23,5587
M6	3	21,0223	0,478609	2,27667%	20,531	21,4871
M7	3	19,8803	0,271172	1,36402%	19,5749	20,0928
M8	3	21,3809	0,478609	2,23849%	20,8895	21,8457
M9	3	19,6811	0,271172	1,37783%	19,3757	19,8936
Total	30	21,9453	1,84035	8,38609%	19,3757	25,1522

##### Tabla ANOVA para DPPH por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	95,2444	9	10,5827	71,14	0,0000
Intra grupos	2,97522	20	0,148761		
Total (Corr.)	98,2196	29			

##### Pruebas de Múltiple Rangos para DPPH por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M9	3	19,6811	X
M7	3	19,8803	X
M10	3	20,7435	XX
M6	3	21,0223	XX
M8	3	21,3809	XX
M4	3	21,6597	XX
M2	3	21,8988	X
M5	3	23,3462	X
M3	3	24,8999	X
M1	3	24,9397	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
M1 - M10	*	4,19627	1,11547
M1 - M2	*	3,04097	1,11547
M1 - M3		0,039838	1,11547
M1 - M4	*	3,28	1,11547
M1 - M5	*	1,59352	1,11547
M1 - M6	*	3,9174	1,11547
M1 - M7	*	5,05943	1,11547
M1 - M8	*	3,55886	1,11547

M1 - M9	*	5,25862	1,11547
M10 - M2	*	-1,1553	1,11547
M10 - M3	*	-4,15643	1,11547
M10 - M4		-0,916274	1,11547
M10 - M5	*	-2,60275	1,11547
M10 - M6		-0,278866	1,11547
M10 - M7		0,863157	1,11547
M10 - M8		-0,637408	1,11547
M10 - M9		1,06235	1,11547
M2 - M3	*	-3,00113	1,11547
M2 - M4		0,239028	1,11547
M2 - M5	*	-1,44745	1,11547
M2 - M6		0,876436	1,11547
M2 - M7	*	2,01846	1,11547
M2 - M8		0,517894	1,11547
M2 - M9	*	2,21765	1,11547
M3 - M4	*	3,24016	1,11547
M3 - M5	*	1,55368	1,11547
M3 - M6	*	3,87757	1,11547
M3 - M7	*	5,01959	1,11547
M3 - M8	*	3,51902	1,11547
M3 - M9	*	5,21878	1,11547
M4 - M5	*	-1,68648	1,11547
M4 - M6		0,637408	1,11547
M4 - M7	*	1,77943	1,11547
M4 - M8		0,278866	1,11547
M4 - M9	*	1,97862	1,11547
M5 - M6	*	2,32388	1,11547
M5 - M7	*	3,46591	1,11547
M5 - M8	*	1,96534	1,11547
M5 - M9	*	3,6651	1,11547
M6 - M7	*	1,14202	1,11547
M6 - M8		-0,358542	1,11547
M6 - M9	*	1,34121	1,11547
M7 - M8	*	-1,50056	1,11547
M7 - M9		0,19919	1,11547
M8 - M9	*	1,69976	1,11547

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 5. Índice de consistencia

Resumen Estadístico para k

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CF</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
M1	3	0,96821	0,0920347	9,50566%	0,87941	1,06317
M10	3	1,03429	0,195833	18,9341%	0,83473	1,22617
M2	3	0,962133	0,0496613	5,16158%	0,91865	1,01625
M3	3	0,892677	0,0710593	7,96025%	0,82229	0,96439
M4	3	0,79324	0,0469327	5,91659%	0,74025	0,82957
M5	3	1,15003	0,0896161	7,79248%	1,06068	1,23991
M6	3	1,05473	0,0910539	8,63288%	0,98454	1,15762
M7	3	0,961203	0,115096	11,9742%	0,83575	1,06192
M8	3	0,940597	0,122365	13,0093%	0,84618	1,07884
M9	3	0,99182	0,0500353	5,0448%	0,94189	1,04196
Total	30	0,974893	0,125085	12,8307%	0,74025	1,23991

Tabla ANOVA para k por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,246574	9	0,0273971	2,64	0,0336
Intra grupos	0,20717	20	0,0103585		
Total (Corr.)	0,453744	29			

Pruebas de Múltiple Rangos para k por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M4	3	0,79324	X
M3	3	0,892677	XX
M8	3	0,940597	XX
M7	3	0,961203	XX
M2	3	0,962133	XX
M1	3	0,96821	XX
M9	3	0,99182	XX
M10	3	1,03429	XX
M6	3	1,05473	XX
M5	3	1,15003	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
M1 - M10		-0,0660767	0,294347
M1 - M2		0,00607667	0,294347
M1 - M3		0,0755333	0,294347
M1 - M4		0,17497	0,294347
M1 - M5		-0,181823	0,294347
M1 - M6		-0,0865233	0,294347
M1 - M7		0,00700667	0,294347
M1 - M8		0,0276133	0,294347

M1 - M9		-0,02361	0,294347
M10 - M2		0,0721533	0,294347
M10 - M3		0,14161	0,294347
M10 - M4		0,241047	0,294347
M10 - M5		-0,115747	0,294347
M10 - M6		-0,0204467	0,294347
M10 - M7		0,0730833	0,294347
M10 - M8		0,09369	0,294347
M10 - M9		0,0424667	0,294347
M2 - M3		0,0694567	0,294347
M2 - M4		0,168893	0,294347
M2 - M5		-0,1879	0,294347
M2 - M6		-0,0926	0,294347
M2 - M7		0,00093	0,294347
M2 - M8		0,0215367	0,294347
M2 - M9		-0,0296867	0,294347
M3 - M4		0,0994367	0,294347
M3 - M5		-0,257357	0,294347
M3 - M6		-0,162057	0,294347
M3 - M7		-0,0685267	0,294347
M3 - M8		-0,04792	0,294347
M3 - M9		-0,0991433	0,294347
M4 - M5	*	-0,356793	0,294347
M4 - M6		-0,261493	0,294347
M4 - M7		-0,167963	0,294347
M4 - M8		-0,147357	0,294347
M4 - M9		-0,19858	0,294347
M5 - M6		0,0953	0,294347
M5 - M7		0,18883	0,294347
M5 - M8		0,209437	0,294347
M5 - M9		0,158213	0,294347
M6 - M7		0,09353	0,294347
M6 - M8		0,114137	0,294347
M6 - M9		0,0629133	0,294347
M7 - M8		0,0206067	0,294347
M7 - M9		-0,0306167	0,294347
M8 - M9		-0,0512233	0,294347

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 6. Umbral de fluencia

### Resumen Estadístico para Tao

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
M1	3	1,44711	0,143588	9,92235%	1,28894	1,56925
M10	3	2,06849	0,46502	22,4811%	1,74439	2,6013
M2	3	1,49384	0,233408	15,6248%	1,27455	1,73918
M3	3	1,64992	0,054865	3,32532%	1,59505	1,70478
M4	3	1,52982	0,516961	33,7923%	1,04633	2,07476
M5	3	1,77382	0,153927	8,67767%	1,63108	1,93691
M6	3	1,81666	0,201518	11,0927%	1,63744	2,0348
M7	3	2,41184	0,660844	27,4%	1,94754	3,16843
M8	3	1,90881	0,0506007	2,65091%	1,85578	1,95657
M9	3	1,90038	0,0388955	2,04672%	1,85978	1,93731
Total	30	1,80007	0,393161	21,8415%	1,04633	3,16843

### Tabla ANOVA para Tao por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,34932	9	0,261035	2,45	0,0459
Intra grupos	2,13338	20	0,106669		
Total (Corr.)	4,4827	29			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Tao por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
M1	3	1,44711	X
M2	3	1,49384	XX
M4	3	1,52982	XX
M3	3	1,64992	XX
M5	3	1,77382	XX
M6	3	1,81666	XX
M9	3	1,90038	XX
M8	3	1,90881	XX
M10	3	2,06849	XX
M7	3	2,41184	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
M1 - M10		-0,621377	0,944563
M1 - M2		-0,0467233	0,944563
M1 - M3		-0,202802	0,944563
M1 - M4		-0,0827067	0,944563
M1 - M5		-0,32671	0,944563
M1 - M6		-0,36955	0,944563
M1 - M7	*	-0,96473	0,944563
M1 - M8		-0,461693	0,944563

M1 - M9	-0,45327	0,944563
M10 - M2	0,574653	0,944563
M10 - M3	0,418575	0,944563
M10 - M4	0,53867	0,944563
M10 - M5	0,294667	0,944563
M10 - M6	0,251827	0,944563
M10 - M7	-0,343353	0,944563
M10 - M8	0,159683	0,944563
M10 - M9	0,168107	0,944563
M2 - M3	-0,156078	0,944563
M2 - M4	-0,0359833	0,944563
M2 - M5	-0,279987	0,944563
M2 - M6	-0,322827	0,944563
M2 - M7	-0,918007	0,944563
M2 - M8	-0,41497	0,944563
M2 - M9	-0,406547	0,944563
M3 - M4	0,120095	0,944563
M3 - M5	-0,123908	0,944563
M3 - M6	-0,166748	0,944563
M3 - M7	-0,761928	0,944563
M3 - M8	-0,258892	0,944563
M3 - M9	-0,250468	0,944563
M4 - M5	-0,244003	0,944563
M4 - M6	-0,286843	0,944563
M4 - M7	-0,882023	0,944563
M4 - M8	-0,378987	0,944563
M4 - M9	-0,370563	0,944563
M5 - M6	-0,04284	0,944563
M5 - M7	-0,63802	0,944563
M5 - M8	-0,134983	0,944563
M5 - M9	-0,12656	0,944563
M6 - M7	-0,59518	0,944563
M6 - M8	-0,0921433	0,944563
M6 - M9	-0,08372	0,944563
M7 - M8	0,503037	0,944563
M7 - M9	0,51146	0,944563
M8 - M9	0,00842333	0,944563

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 7. Atributo color

### Resumen Estadístico para Aceptabilidad

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
T1	69	5,86957	1,9846	33,8116%	1,0	9,0
T10	65	6,32308	1,63083	25,7918%	1,0	9,0
T2	70	5,9	1,72912	29,3071%	1,0	9,0
T3	69	5,92754	1,81755	30,6629%	1,0	9,0
T4	69	6,02899	1,59014	26,375%	1,0	9,0
T5	70	5,82857	1,63274	28,0127%	2,0	9,0
T6	68	6,19118	1,61391	26,0679%	2,0	9,0
T7	68	6,20588	1,33337	21,4856%	3,0	9,0
T8	70	6,14286	1,62664	26,4802%	1,0	8,0
T9	67	5,98507	1,73635	29,0114%	1,0	8,0
Total	685	6,03796	1,67411	27,7265%	1,0	9,0

Tabla ANOVA para Aceptabilidad por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	16,9602	9	1,88447	0,67	0,7370
Intra grupos	1900,05	675	2,81489		
Total (Corr.)	1917,01	684			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Aceptabilidad por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T5	70	5,82857	X
T1	69	5,86957	X
T2	70	5,9	X
T3	69	5,92754	X
T9	67	5,98507	X
T4	69	6,02899	X
T8	70	6,14286	X
T6	68	6,19118	X
T7	68	6,20588	X
T10	65	6,32308	X

### Prueba de Kruskal-Wallis para Aceptabilidad por Tratamientos

<i>Tratamientos</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
T1	69	330,217
T10	65	379,069
T2	70	330,393
T3	69	336,58
T4	69	333,101
T5	70	311,9
T6	68	353,824

T7	68	355,926
T8	70	357,379
T9	67	344,515

Estadístico = 5,81181 Valor-P = 0,758595

### Anexo 8. Atributo olor

#### Resumen Estadístico para Olor

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CV</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
T1	69	6,44928	1,67627	25,9916%	1,0	9,0
T10	65	6,95385	1,19152	17,1346%	5,0	9,0
T2	70	6,45714	1,54812	23,9754%	1,0	9,0
T3	69	6,65217	1,29281	19,4344%	3,0	9,0
T4	69	6,71014	1,30724	19,4815%	4,0	9,0
T5	70	6,3	1,5261	24,2238%	2,0	9,0
T6	68	6,82353	1,20869	17,7136%	4,0	9,0
T7	68	6,36765	1,13169	17,7725%	4,0	9,0
T8	70	6,72857	1,2149	18,0558%	3,0	9,0
T9	67	6,64179	1,12414	16,9252%	4,0	9,0
Total	685	6,60584	1,34294	20,3295%	1,0	9,0

#### Tabla ANOVA para Olor por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	26,7791	9	2,97546	1,66	0,0940
Intra grupos	1206,8	675	1,78785		
Total (Corr.)	1233,58	684			

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Olor por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T5	70	6,3	X
T7	68	6,36765	X
T1	69	6,44928	X
T2	70	6,45714	X
T9	67	6,64179	X
T3	69	6,65217	X
T4	69	6,71014	X
T8	70	6,72857	X
T6	68	6,82353	X
T10	65	6,95385	X

## Prueba de Kruskal-Wallis para Olor por Tratamientos

<i>Tratamientos</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
T1	69	339,442
T10	65	389,131
T2	70	328,364
T3	69	345,297
T4	69	357,819
T5	70	304,621
T6	68	370,853
T7	68	295,118
T8	70	358,579
T9	67	343,724

Estadístico = 13,4519 Valor-P = 0,1432

**Anexo 9. Atributo persistencia**

## Resumen Estadístico para Persistencia

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>CF</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
T1	69	5,4058	1,98019	36,6308%	1,0	9,0
T10	65	6,13846	1,72189	28,0508%	1,0	9,0
T2	70	5,78571	1,79284	30,9874%	2,0	9,0
T3	69	5,94203	1,68806	28,4087%	1,0	9,0
T4	69	5,97101	1,68881	28,2835%	2,0	9,0
T5	70	5,94286	1,80888	30,4379%	2,0	9,0
T6	68	6,04412	1,53986	25,4769%	2,0	9,0
T7	68	6,13235	1,55405	25,3417%	2,0	9,0
T8	70	6,07143	1,59093	26,2035%	1,0	8,0
T9	67	5,98507	1,69216	28,273%	1,0	8,0
Total	685	5,94015	1,71191	28,8193%	1,0	9,0

## Tabla ANOVA para Persistencia por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	28,5828	9	3,17586	1,08	0,3716
Intra grupos	1975,96	675	2,92735		
Total (Corr.)	2004,55	684			

## Pruebas de Múltiple Rangos para Persistencia por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T1	69	5,4058	X
T2	70	5,78571	X
T3	69	5,94203	X
T5	70	5,94286	X
T4	69	5,97101	X

T9	67	5,98507	X
T6	68	6,04412	X
T8	70	6,07143	X
T7	68	6,13235	X
T10	65	6,13846	X

#### Prueba de Kruskal-Wallis para Persistencia por Tratamientos

<i>Tratamientos</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
T1	69	291,906
T10	65	369,369
T2	70	327,914
T3	69	335,674
T4	69	339,899
T5	70	345,821
T6	68	349,647
T7	68	362,618
T8	70	357,586
T9	67	351,694

Estadístico = 7,86975 Valor-P = 0,547324

#### Anexo 10. Atributo aceptabilidad global

##### Resumen Estadístico para Aceptabilidad

<i>Tratamientos</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
T1	69	5,86957	1,9846	33,8116%	1,0	9,0
T10	65	6,32308	1,63083	25,7918%	1,0	9,0
T2	70	5,9	1,72912	29,3071%	1,0	9,0
T3	69	5,92754	1,81755	30,6629%	1,0	9,0
T4	69	6,02899	1,59014	26,375%	1,0	9,0
T5	70	5,82857	1,63274	28,0127%	2,0	9,0
T6	68	6,19118	1,61391	26,0679%	2,0	9,0
T7	68	6,20588	1,33337	21,4856%	3,0	9,0
T8	70	6,14286	1,62664	26,4802%	1,0	8,0
T9	67	5,98507	1,73635	29,0114%	1,0	8,0
Total	685	6,03796	1,67411	27,7265%	1,0	9,0

##### Tabla ANOVA para Aceptabilidad por Tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	16,9602	9	1,88447	0,67	0,7370
Intra grupos	1900,05	675	2,81489		
Total (Corr.)	1917,01	684			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Aceptabilidad por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T5	70	5,82857	X
T1	69	5,86957	X
T2	70	5,9	X
T3	69	5,92754	X
T9	67	5,98507	X
T4	69	6,02899	X
T8	70	6,14286	X
T6	68	6,19118	X
T7	68	6,20588	X
T10	65	6,32308	X

### Prueba de Kruskal-Wallis para Aceptabilidad por Tratamientos

<i>Tratamientos</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
T1	69	330,217
T10	65	379,069
T2	70	330,393
T3	69	336,58
T4	69	333,101
T5	70	311,9
T6	68	353,824
T7	68	355,926
T8	70	357,379
T9	67	344,515

Estadístico = 5,81181 Valor-P = 0,758595

### Anexo 11. Metodología de superficie respuesta polifenoles

Regresión de superficie de respuesta: Polifenoles vs. Temperatura; Tiempo

#### Coeficientes codificados

<u>Término</u>	<u>Coef</u>	<u>EE del coef.</u>	<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>	<u>FIV</u>
Constante	0,6587	0,0301	21,88	0,000	
Temperatura	-0,0497	0,0170	-2,93	0,043	1,00
Tiempo	0,0041	0,0160	0,26	0,810	1,03
Temperatura*Temperatura	0,1506	0,0272	5,53	0,005	1,03
Tiempo*Tiempo	0,0757	0,0289	2,62	0,059	1,01
Temperatura*Tiempo	0,0040	0,0208	0,19	0,855	1,00

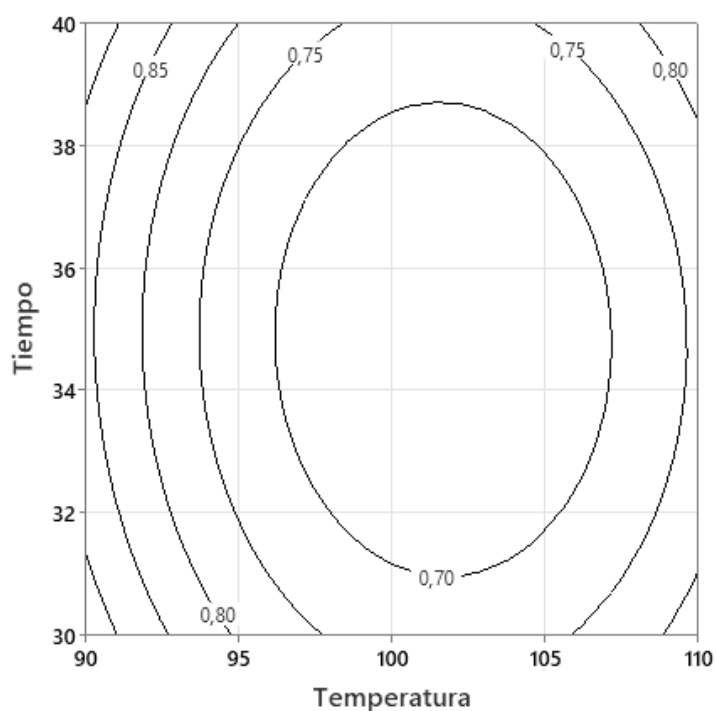
## Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,0416031	91,69%	81,30%	50,77%

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,076363	0,015273	8,82	0,028
Lineal	2	0,014951	0,007476	4,32	0,100
Temperatura	1	0,014837	0,014837	8,57	0,043
Tiempo	1	0,000115	0,000115	0,07	0,810
Cuadrado	2	0,061239	0,030619	17,69	0,010
Temperatura*Temperatura	1	0,052904	0,052904	30,57	0,005
Tiempo*Tiempo	1	0,011900	0,011900	6,88	0,059
Interacción de 2 factores	1	0,000065	0,000065	0,04	0,855
Temperatura*Tiempo	1	0,000065	0,000065	0,04	0,855
Error	4	0,006923	0,001731		
Falta de ajuste	3	0,003436	0,001145	0,33	0,821
Error puro	1	0,003487	0,003487		
Total	9	0,083286			

Gráfica de contorno de Polifenoles vs. Tiempo; Temperatura



## Anexo 12. Metodología de superficie respuesta antocianinas

### Coefficientes codificados

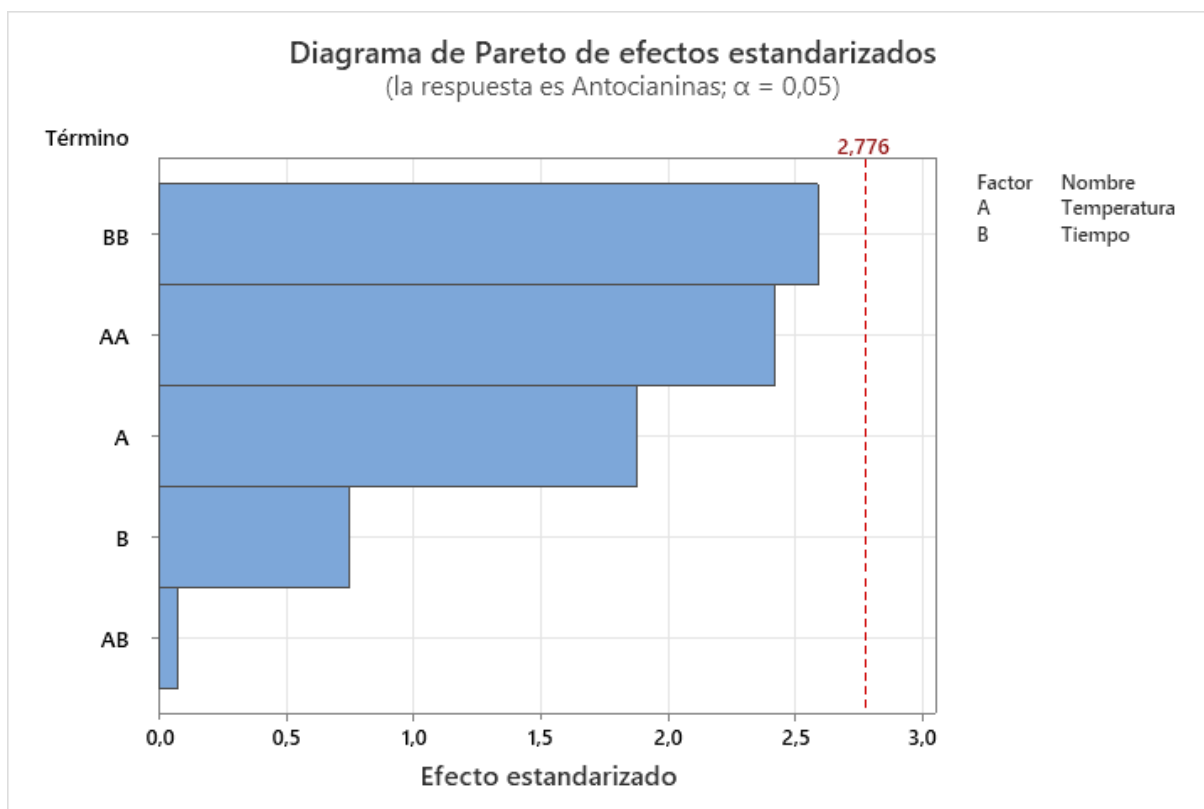
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,00732	0,00440	1,66	0,171	
Temperatura	-0,00466	0,00248	-1,88	0,134	1,00
Tiempo	0,00175	0,00234	0,75	0,496	1,03
Temperatura*Temperatura	0,00962	0,00398	2,42	0,073	1,03
Tiempo*Tiempo	0,01092	0,00422	2,59	0,061	1,01
Temperatura*Tiempo	-0,00022	0,00304	-0,07	0,945	1,00

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,0060786	79,50%	53,88%	0,00%

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,000573	0,000115	3,10	0,148
Lineal	2	0,000151	0,000075	2,04	0,245
Temperatura	1	0,000130	0,000130	3,52	0,134
Tiempo	1	0,000021	0,000021	0,56	0,496
Cuadrado	2	0,000429	0,000215	5,81	0,066
Temperatura*Temperatura	1	0,000216	0,000216	5,84	0,073
Tiempo*Tiempo	1	0,000247	0,000247	6,69	0,061
Interacción de 2 factores	1	0,000000	0,000000	0,01	0,945
Temperatura*Tiempo	1	0,000000	0,000000	0,01	0,945
Error	4	0,000148	0,000037		
Falta de ajuste	3	0,000092	0,000031	0,55	0,731
Error puro	1	0,000056	0,000056		
Total	9	0,000721			



### Anexo 13. Metodología de superficie respuesta capacidad antioxidante

Regresión de superficie de respuesta: DPPH vs. Temperatura; Tiempo

#### Coeficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	19,535	0,400	48,90	0,000	
Temperatura	-1,434	0,225	-6,36	0,003	1,00
Tiempo	0,166	0,213	0,78	0,479	1,03
Temperatura*Temperatura	2,722	0,361	7,53	0,002	1,03
Tiempo*Tiempo	1,056	0,383	2,75	0,051	1,01
Temperatura*Tiempo	-0,050	0,276	-0,18	0,866	1,00

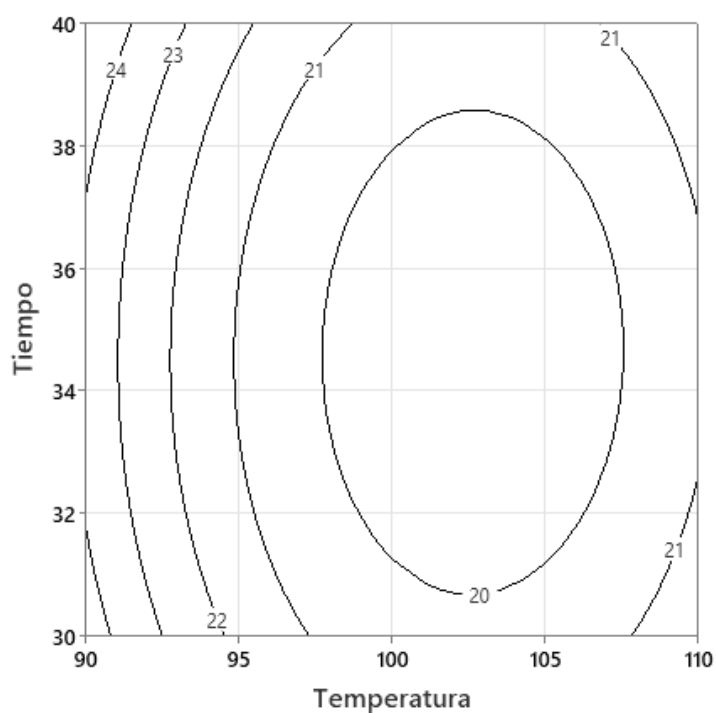
#### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,552002	96,23%	91,51%	68,91%

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	31,0806	6,2161	20,40	0,006
Lineal	2	12,5262	6,2631	20,55	0,008
Temperatura	1	12,3410	12,3410	40,50	0,003
Tiempo	1	0,1852	0,1852	0,61	0,479
Cuadrado	2	18,7254	9,3627	30,73	0,004
Temperatura*Temperatura	1	17,2917	17,2917	56,75	0,002
Tiempo*Tiempo	1	2,3116	2,3116	7,59	0,051
Interacción de 2 factores	1	0,0099	0,0099	0,03	0,866
Temperatura*Tiempo	1	0,0099	0,0099	0,03	0,866
Error	4	1,2188	0,3047		
Falta de ajuste	3	0,8577	0,2859	0,79	0,657
Error puro	1	0,3611	0,3611		
Total	9	32,2994			

Gráfica de contorno de DPPH vs. Tiempo; Temperatura



## Anexo 14. Metodología de superficie respuesta umbral de fluencia

### Coeficientes codificados

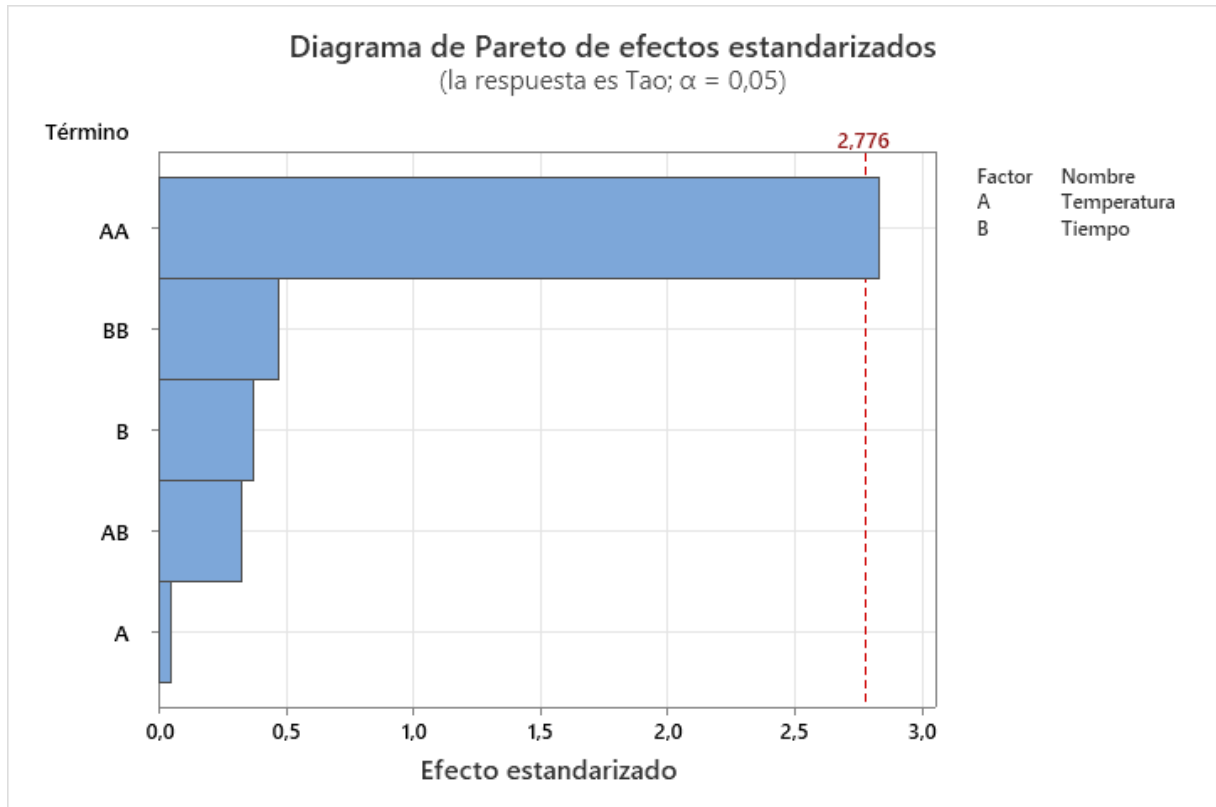
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	2,143	0,183	11,68	0,000	
Temperatura	-0,005	0,104	-0,05	0,964	1,00
Tiempo	-0,0367	0,0978	-0,38	0,727	1,03
Temperatura*Temperatura	-0,470	0,166	-2,83	0,047	1,03
Tiempo*Tiempo	-0,083	0,176	-0,47	0,663	1,01
Temperatura*Tiempo	-0,042	0,127	-0,33	0,758	1,00

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,253539	67,16%	26,10%	0,00%

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,525731	0,105146	1,64	0,327
Lineal	2	0,009191	0,004595	0,07	0,932
Temperatura	1	0,000150	0,000150	0,00	0,964
Tiempo	1	0,009041	0,009041	0,14	0,727
Cuadrado	2	0,518607	0,259303	4,03	0,110
Temperatura*Temperatura	1	0,514650	0,514650	8,01	0,047
Tiempo*Tiempo	1	0,014178	0,014178	0,22	0,663
Interacción de 2 factores	1	0,006972	0,006972	0,11	0,758
Temperatura*Tiempo	1	0,006972	0,006972	0,11	0,758
Error	4	0,257128	0,064282		
Falta de ajuste	3	0,244487	0,081496	6,45	0,280
Error puro	1	0,012641	0,012641		
Total	9	0,782859			



## Anexo 15. Metodología de superficie respuesta índice de consistencia

Regresión de superficie de respuesta: k vs. Temperatura; Tiempo

### Coeficientes codificados

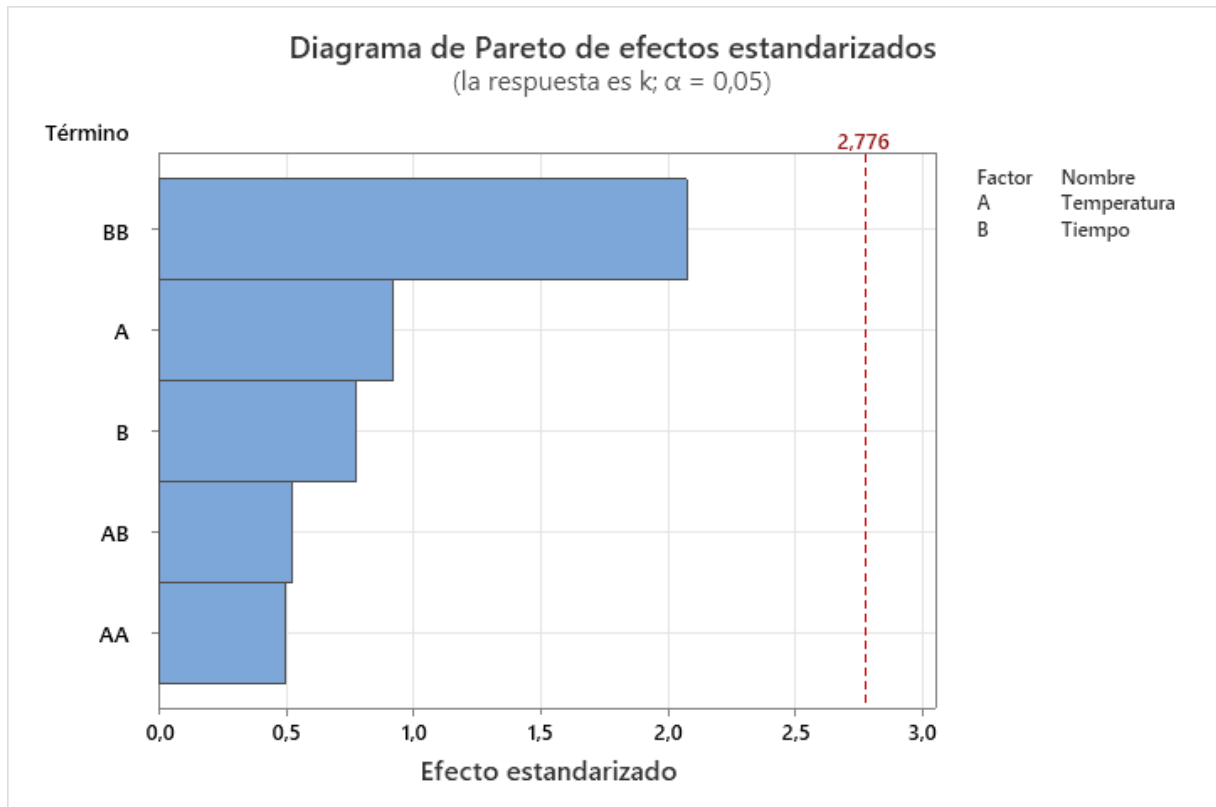
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1,0851	0,0647	16,78	0,000	
Temperatura	-0,0335	0,0365	-0,92	0,411	1,00
Tiempo	-0,0266	0,0345	-0,77	0,483	1,03
Temperatura*Temperatura	-0,0292	0,0585	-0,50	0,644	1,03
Tiempo*Tiempo	-0,1286	0,0621	-2,07	0,107	1,01
Temperatura*Tiempo	-0,0235	0,0447	-0,53	0,627	1,00

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,0893758	61,13%	12,55%	0,00%

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,050261	0,010052	1,26	0,424
Lineal	2	0,011504	0,005752	0,72	0,541
Temperatura	1	0,006733	0,006733	0,84	0,411
Tiempo	1	0,004770	0,004770	0,60	0,483
Cuadrado	2	0,035234	0,017617	2,21	0,226
Temperatura*Temperatura	1	0,001991	0,001991	0,25	0,644
Tiempo*Tiempo	1	0,034324	0,034324	4,30	0,107
Interacción de 2 factores	1	0,002209	0,002209	0,28	0,627
Temperatura*Tiempo	1	0,002209	0,002209	0,28	0,627
Error	4	0,031952	0,007988		
Falta de ajuste	3	0,027628	0,009209	2,13	0,458
Error puro	1	0,004325	0,004325		
Total	9	0,082213			



## Anexo 16. Metodología de superficie respuesta color

Regresión de superficie de respuesta: Color vs. Temperatura; Tiempo

### Coeficientes codificados

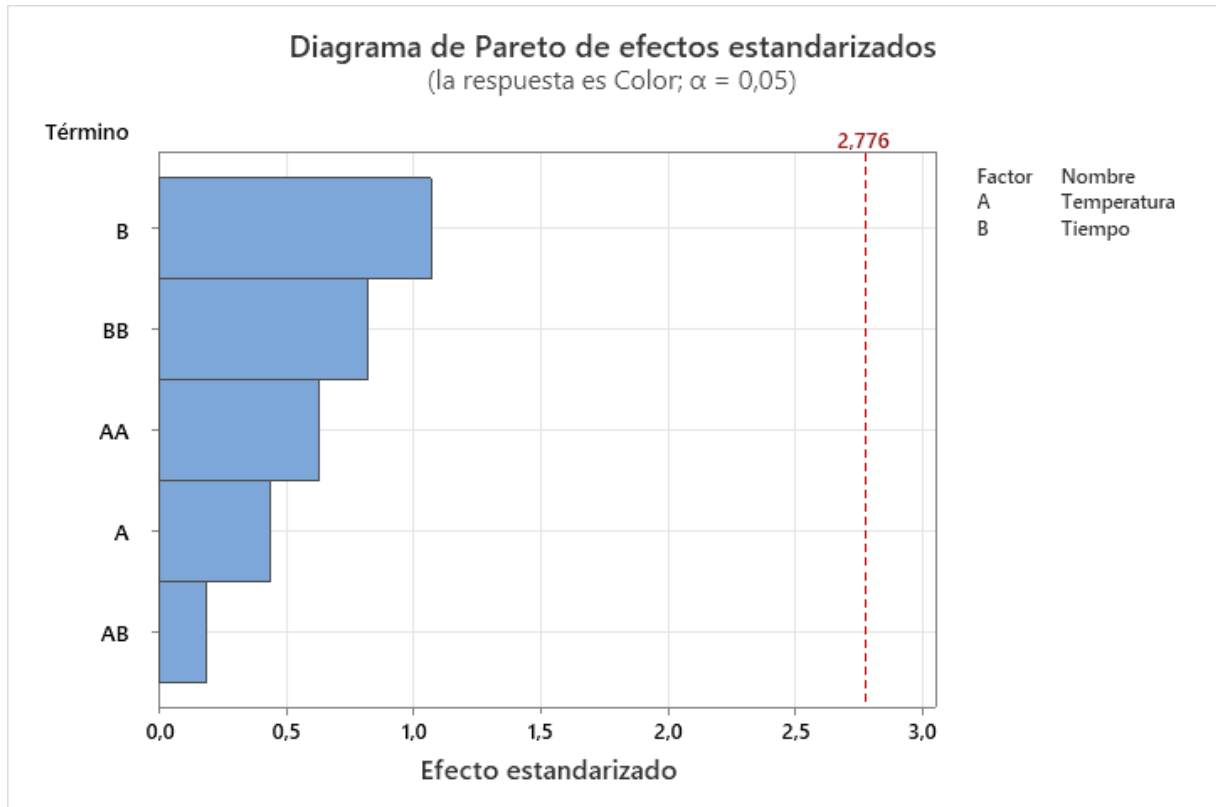
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	6,908	0,135	51,21	0,000	
Temperatura	0,0333	0,0761	0,44	0,684	1,00
Tiempo	0,0769	0,0719	1,07	0,345	1,03
Temperatura*Temperatura	-0,077	0,122	-0,63	0,562	1,03
Tiempo*Tiempo	-0,106	0,129	-0,82	0,457	1,01
Temperatura*Tiempo	-0,0175	0,0932	-0,19	0,860	1,00

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,186384	38,15%	0,00%	0,00%

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,085694	0,017139	0,49	0,771
Lineal	2	0,046411	0,023206	0,67	0,562
Temperatura	1	0,006667	0,006667	0,19	0,684
Tiempo	1	0,039744	0,039744	1,14	0,345
Cuadrado	2	0,034755	0,017378	0,50	0,640
Temperatura*Temperatura	1	0,013886	0,013886	0,40	0,562
Tiempo*Tiempo	1	0,023493	0,023493	0,68	0,457
Interacción de 2 factores	1	0,001225	0,001225	0,04	0,860
Temperatura*Tiempo	1	0,001225	0,001225	0,04	0,860
Error	4	0,138956	0,034739		
Falta de ajuste	3	0,084506	0,028169	0,52	0,741
Error puro	1	0,054450	0,054450		
Total	9	0,224650			



## Anexo 17. Metodología de superficie respuesta olor

Regresión de superficie de respuesta: Olor vs. Temperatura; Tiempo

### Coeficientes codificados

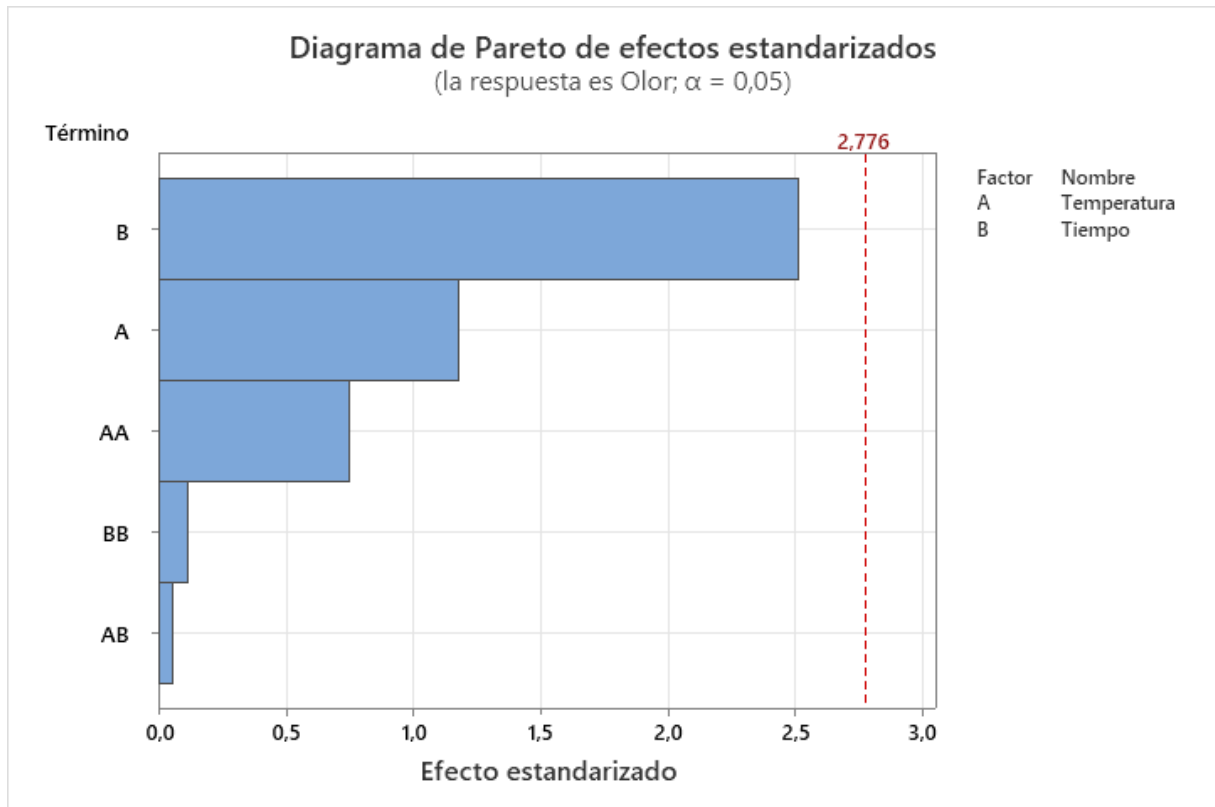
Término	Coef EE	del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	6,626	0,130	50,89	0,000	
Temperatura	0,0867	0,0734	1,18	0,303	1,00
Tiempo	0,1743	0,0694	2,51	0,066	1,03
Temperatura*Temperatura	-0,089	0,118	-0,75	0,494	1,03
Tiempo*Tiempo	0,014	0,125	0,11	0,914	1,01
Temperatura*Tiempo	0,0050	0,0900	0,06	0,958	1,00

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,179904	69,47%	31,30%	0,00%

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,294538	0,058908	1,82	0,291
Lineal	2	0,249190	0,124595	3,85	0,117
Temperatura	1	0,045067	0,045067	1,39	0,303
Tiempo	1	0,204123	0,204123	6,31	0,066
Cuadrado	2	0,019284	0,009642	0,30	0,758
Temperatura*Temperatura	1	0,018305	0,018305	0,57	0,494
Tiempo*Tiempo	1	0,000423	0,000423	0,01	0,914
Interacción de 2 factores	1	0,000100	0,000100	0,00	0,958
Temperatura*Tiempo	1	0,000100	0,000100	0,00	0,958
Error	4	0,129462	0,032365		
Falta de ajuste	3	0,093012	0,031004	0,85	0,642
Error puro	1	0,036450	0,036450		
Total	9	0,424000			



## Anexo 18. Metodología de superficie respuesta persistencia

Regresión de superficie de respuesta: Persistencia vs. Temperatura; Tiempo

### Coeficientes codificados

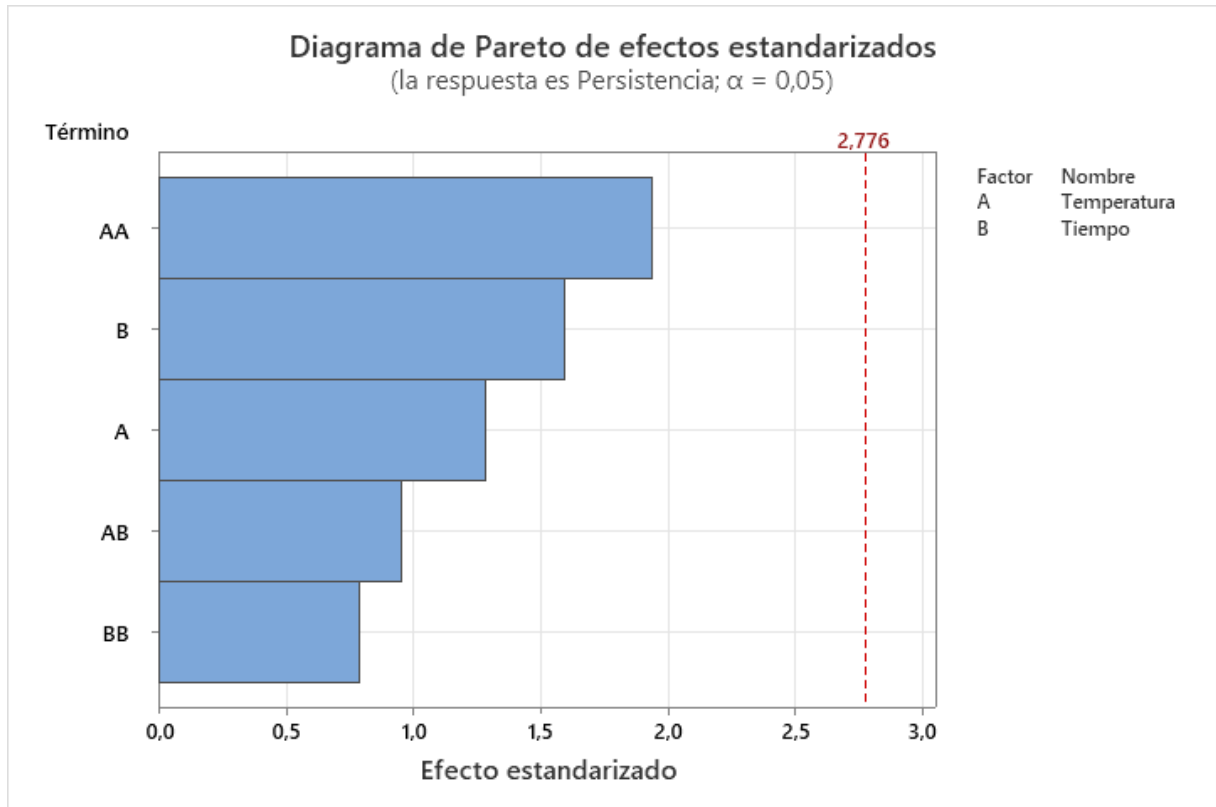
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	6,130	0,129	47,65	0,000	
Temperatura	0,0933	0,0726	1,29	0,268	1,00
Tiempo	0,1095	0,0686	1,60	0,186	1,03
Temperatura*Temperatura	-0,226	0,116	-1,94	0,124	1,03
Tiempo*Tiempo	-0,097	0,123	-0,79	0,475	1,01
Temperatura*Tiempo	-0,0850	0,0889	-0,96	0,393	1,00

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,177781	71,71%	36,36%	0,00%

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,320536	0,064107	2,03	0,256
Lineal	2	0,132876	0,066438	2,10	0,238
Temperatura	1	0,052267	0,052267	1,65	0,268
Tiempo	1	0,080610	0,080610	2,55	0,186
Cuadrado	2	0,131682	0,065841	2,08	0,240
Temperatura*Temperatura	1	0,118876	0,118876	3,76	0,124
Tiempo*Tiempo	1	0,019572	0,019572	0,62	0,475
Interacción de 2 factores	1	0,028900	0,028900	0,91	0,393
Temperatura*Tiempo	1	0,028900	0,028900	0,91	0,393
Error	4	0,126424	0,031606		
Falta de ajuste	3	0,121424	0,040475	8,09	0,252
Error puro	1	0,005000	0,005000		
Total	9	0,446960			



### Anexo 19. Metodología de superficie respuesta aceptabilidad global

Regresión de superficie de respuesta: Aceptabilidad vs. Temperatura; Tiempo

#### Coeficientes codificados

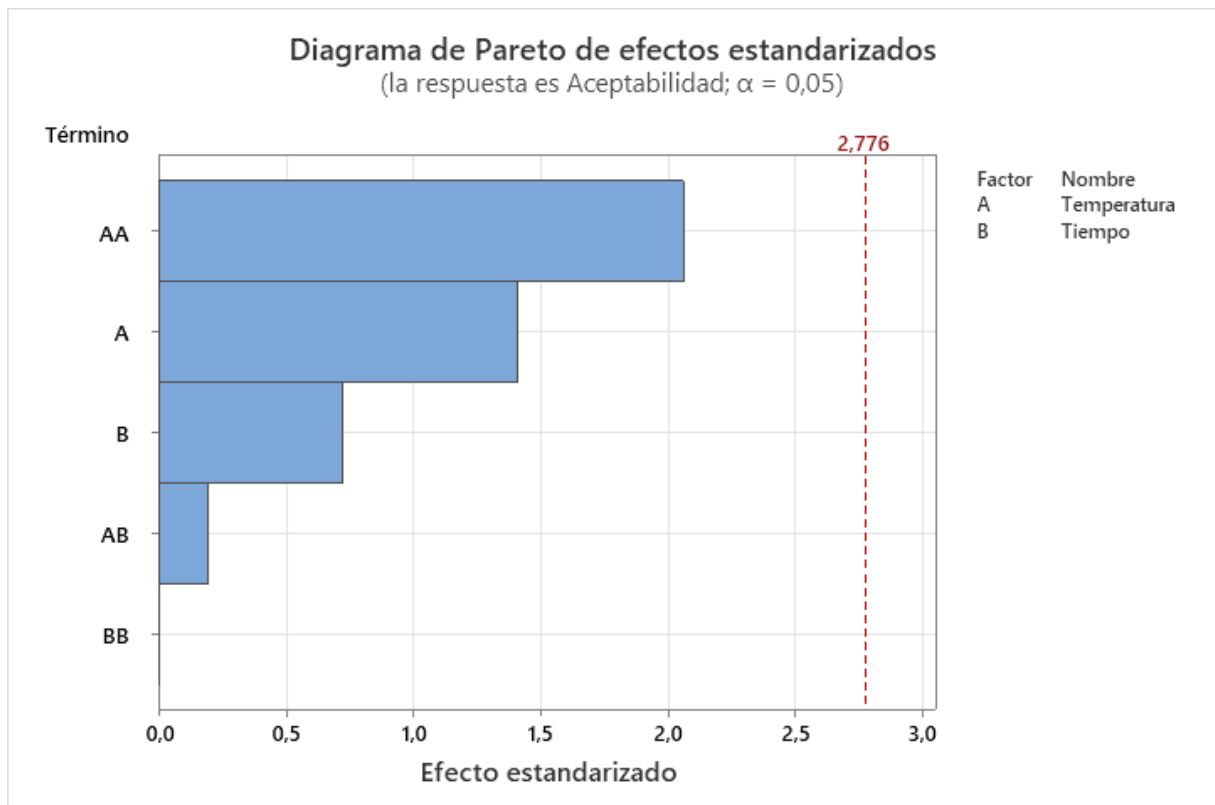
Término	Coef EE	del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	6,174	0,113	54,60	0,000	
Temperatura	0,0900	0,0638	1,41	0,231	1,00
Tiempo	0,0437	0,0603	0,72	0,509	1,03
Temperatura*Temperatura	-0,211	0,102	-2,06	0,108	1,03
Tiempo*Tiempo	0,000	0,108	0,00	0,998	1,01
Temperatura*Tiempo	0,0150	0,0781	0,19	0,857	1,00

#### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,156237	64,87%	20,96%	0,00%

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,180320	0,036064	1,48	0,363
Lineal	2	0,061428	0,030714	1,26	0,377
Temperatura	1	0,048600	0,048600	1,99	0,231
Tiempo	1	0,012828	0,012828	0,53	0,509
Cuadrado	2	0,104271	0,052136	2,14	0,234
Temperatura*Temperatura	1	0,103601	0,103601	4,24	0,108
Tiempo*Tiempo	1	0,000000	0,000000	0,00	0,998
Interacción de 2 factores	1	0,000900	0,000900	0,04	0,857
Temperatura*Tiempo	1	0,000900	0,000900	0,04	0,857
Error	4	0,097640	0,024410		
Falta de ajuste	3	0,075590	0,025197	1,14	0,581
Error puro	1	0,022050	0,022050		
Total	9	0,277960			



**Anexo 20. Galería fotográfica**