



**CARRERA: AGROINDUSTRIAS**

**TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN  
DEL PROCESO DE TOSTADO DE CACAO CCN51  
MEDIANTE RSM Y EVALUACIÓN SENSORIAL”.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.  
MODALIDAD: PROPUESTA METODOLÒGICA O  
TECNOLÒGICA**

**LINEA DE INVESTIGACIÒN: OPTIMIZACÒN E  
INNOVACIÒN DE PROCESOS AGROINDUSTRIALES**

**PREVIO A LA OBTENCIÒN DE TITULO DE: INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**AUTOR/A: CASANOVA GASPAR  
ISABEL SHIRLEY**

**ASESOR: JONATHAN ARGUELLO  
CEDEÑO**

**ESMERALDAS, JULIO 2025**



## **AUTORÍA**

Yo, Casanova Gaspar Isabel Shirley Portador/a de la cédula de identidad No.

0850246307 declaro que los resultados obtenidos en trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de “Ingeniero/a Agroindustrial” son absolutamente originales, auténticos y personales.

En tal virtud, declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo propuesto de investigación y luego de la redacción de este documento son y serán de mi sola, exclusiva responsabilidad legal y académica.

.....

Shirley Isabel Casanova Gaspar  
C.I. 0850246307



## **CERTIFICACIÓN**

Mgt. Jonathan Arguello Cedeño, docente investigador de la PUCE Sede Esmeraldas, certifica que: El trabajo de integración curricular realizado por Casanova Gaspar Isabel, bajo el título “análisis de la cadena de valor del cacao: identificación de puntos críticos y propuesta de estrategias de mejora desde la producción hasta la comercialización”, reúne los requisitos de calidad, originalidad y presentación exigibles a una investigación científica y que han sido incorporadas al documento final las sugerencias realizadas, en consecuencia, está en condiciones de ser sometido a la valoración del Tribunal encargado de juzgarla. Y para que conste a los efectos oportunos, firma la presente en Esmeraldas, mes año.

.....  
**Mgt. Jonathan Arguello Cedeño**

Asesor de Tesis



## **DEDICATORIA**

Con el corazón lleno de gratitud, dedico este trabajo investigativo a las dos personas más importantes en mi vida: mis padres. Gracias por ser mi mayor fuente de inspiración, por sus consejos sabios, su amor incondicional y por cada uno de los sacrificios que realizaron para que yo pudiera alcanzar esta meta. Su esfuerzo silencioso, su fe en mí y su presencia constante han sido el motor que me ha impulsado a continuar, incluso en los momentos más difíciles. Este logro es tan mío como suyo.

También extendo esta dedicatoria a las autoridades competentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE), quienes, con su liderazgo, compromiso y dedicación a la excelencia académica, han creado un entorno de aprendizaje que fomenta el pensamiento crítico, la investigación y la responsabilidad social. Agradezco especialmente a los docentes y personal administrativo que, con paciencia y vocación, han contribuido de forma significativa a mi formación profesional.

A todos quienes creyeron en mí y me acompañaron en este camino, esta investigación representa no solo el cierre de una etapa académica, sino también el inicio de nuevos retos y compromisos para aportar positivamente a la sociedad.



## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, hicieron posible la realización de este proyecto de investigación. Su apoyo constante y valiosa colaboración fueron esenciales para alcanzar este objetivo.

En primer lugar, agradezco al señor Jonathan Arguello por su guía profesional, acompañamiento constante y por compartir sus conocimientos durante el desarrollo de este trabajo. Su compromiso y experiencia fueron determinantes para mejorar la calidad de esta investigación.

Extiendo también mi gratitud a los docentes y al personal académico de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, quienes me proporcionaron las herramientas, el conocimiento y el respaldo necesario a lo largo de mi formación universitaria. Su dedicación a la educación ha sido una fuente de motivación permanente.

Por supuesto, no puedo dejar de mencionar a mi familia, cuyo amor, paciencia y comprensión me brindaron la fortaleza necesaria para seguir adelante en los momentos más exigentes de este proceso. Su presencia fue fundamental en cada paso de este camino.

A cada uno de ustedes, gracias por formar parte de este logro. Este proyecto también les pertenece.



**TABLA DE CONTENIDO.**

AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Importancia del Cacao CCN51 y sus Desafíos Sensoriales.....	4
2.2. Transformaciones Químicas y Físicas durante el Tostado .....	4
2.3. Variables Críticas del Proceso de Tostado .....	5
2.4. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM).....	6
Entre sus principales ventajas destacan: .....	6
2.5. Evaluación Sensorial como Herramienta de Optimización .....	6
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
4 METODOLOGÍA.....	8
4.1. Material Vegetal.....	8
4.2. Preparación de Muestras y Ajuste de Humedad .....	8
4.3. Diseño Experimental (RSM - Diseño Central Compuesto).....	8
4.4. Proceso de Tostado Experimental .....	10
4.4. Evaluación Sensorial.....	12
4.5. Análisis de Datos y Optimización con RSM.....	13
5. RESULTADOS .....	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Proceso de temperatura en el cultivo:.....	24



6. IMPACTO Y RELEVANCIA .....	27
ANEXOS. ....	29
PROCESO DEL CACAO-CNN51 TOSTADO MAQUINA PROCESADORA .....	29
BALANZA Y MEDIDA .....	31
HUMEDAD .....	32
CONTROL-TEMPERATURA Y ENFRIAMIENTO .....	33
PRUEBA SENSORIAL .....	34
RESULTADO FINAL.....	35
REFERENCIAS.....	37

**ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1. Diseño experimental del tostado.....	9
Tabla 2. Parámetros sensoriales.....	15
Tabla 3. Catadores del cacao .....	15
Tabla 4. Variables sensoriales de 30 minutos.....	16
Tabla 5. Niveles sensoriales de 40 minutos.....	17
Tabla 6. Variables de tiempo .....	18

**ÍNDICE DE FIGURAS.**

Figura 1. Variables críticas del proceso del tostado .....	5
Figura 2. Proceso del tostado experimental .....	10
Figura 3. Niveles sensoriales .....	16
Figura 4. Niveles sensoriales de 30 minutos.....	17
Figura 5. Niveles sensoriales de 40 minutos.....	18
Figura 6. Variable sensorial final.....	19



## RESUMEN

El cacao CCN51, ampliamente cultivado en Ecuador por su alta productividad y resistencia, presenta limitaciones en su aceptación comercial debido a su perfil sensorial, caracterizado por notas ácidas y astringentes. Esta investigación propone la optimización del proceso de tostado del CCN51 mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM), considerando la temperatura, el tiempo de tostado y la humedad inicial como variables críticas. El objetivo es mejorar sus atributos sensoriales y establecer un protocolo técnico estandarizado que permita obtener un cacao de calidad superior, competitivo en mercados de alto valor. La evaluación sensorial será la variable de respuesta principal para modelar y validar el proceso. Se espera que los resultados contribuyan al fortalecimiento de la industria cacaotera ecuatoriana, aportando valor agregado y mejorando la consistencia del producto final.

**Palabras claves:** Cacao CCN51 – Tostado - Perfil sensorial - Optimización de procesos - Metodología de Superficie de Respuesta - Agroindustria del cacao.



## **ABSTRACT**

CCN51 cocoa, widely cultivated in Ecuador for its high yield and disease resistance, faces commercial limitations due to its sensory profile, often marked by acidic and astringent notes. This study aims to optimize the roasting process of CCN51 using Response Surface Methodology (RSM), considering temperature, roasting time, and initial moisture content as critical variables. The main objective is to enhance its sensory attributes and establish a standardized technical protocol to obtain high-quality cocoa suitable for premium markets. Sensory evaluation will serve as the primary response variable to model and validate the process. The findings are expected to support the advancement of Ecuador's cocoa industry by adding value and improving product consistency.

**Keywords:** CCN51 cocoa – Roasting - Sensory profile - Process optimization – Response Surface Methodology - Cocoa agroindustry.



## 1. INTRODUCCIÓN

El cacao en particular el CCN51, constituye un pilar fundamental de la economía agrícola del país, debido a su alta productividad y resistencia agronómica. No obstante, su perfil sensorial, caracterizado comúnmente por notas ácidas y astringentes, representa una limitación en mercados especializados que demandan cacaos con mayor complejidad aromática y atributos finos. En este contexto, la mejora de la calidad organoléptica del CCN51 requiere una intervención técnica precisa en las etapas postcosecha, siendo el tostado una de las más determinantes.

Se cultivan dos tipos: el Cacao CCN-51 y el Cacao Nacional, Ecuador lidera el mercado mundial con el 63% en cacao fino de aroma, siendo el mayor productor. La calidad del cacao depende de factores como genética, manejo postcosecha y transformación. Entre 2015 y 2024, las exportaciones crecieron un 17. % anualmente, alcanzando su pico en 2021.

Sin embargo, la variabilidad en las condiciones de tostado del cacao CCN51 particularmente en términos de temperatura, tiempo y contenido de humedad inicial puede provocar inconsistencias significativas en la calidad sensorial del producto final. Estos factores modulan directamente la cinética de reacciones térmicas como la de Maillard, la caramelización y la degradación de lípidos y aminoácidos, afectando profundamente el perfil sensorial del nibs tostado.

Ante esta problemática, la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM, por sus siglas en inglés) se presenta como una herramienta estadística eficaz para modelar y optimizar procesos multivariados. Es posible la estandarización del proceso de tostado del cacao para maximizar los atributos sensoriales a través de la temperatura, el tiempo de tostado y el porcentaje de humedad inicial del grano, y establecer un protocolo técnico a nivel industrial.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Importancia del Cacao CCN51 y sus Desafíos Sensoriales**

El cacao CCN51, desarrollado en Ecuador, es ampliamente reconocido por su alta productividad, rápida adaptabilidad y notable resistencia a enfermedades como la moniliasis y la escoba de bruja. Estas características lo convierten en una opción económicamente viable para pequeños y medianos productores. Sin embargo, su aceptación en mercados especializados se ve limitada por un perfil sensorial que frecuentemente presenta notas ácidas, astringentes y amargas, lo cual contrasta con las cualidades organolépticas más delicadas y complejas de cacaos finos de aroma, como el Nacional o Arriba. Por tanto, uno de los principales retos técnicos consiste en transformar este cacao de alto rendimiento en una materia prima más apreciada por la industria de chocolates de calidad, mejorando su perfil sensorial sin comprometer su productividad.

### **2.2. Transformaciones Químicas y Físicas durante el Tostado**

El proceso de tostado del cacao representa una etapa crítica en la cadena de post cosecha, ya que es en este punto donde se definen gran parte de los atributos sensoriales del grano. Durante el calentamiento, ocurren transformaciones químicas y físicas que afectan directamente el sabor, aroma y textura del producto final:

○ **Generación de aroma y sabor:** Las elevadas temperaturas inducen reacciones térmicas como la de Maillard, la caramelización de azúcares y la degradación de aminoácidos, que producen una amplia gama de compuestos volátiles. Estas moléculas, como parisinas, furanos, aldehídos y ésteres, son responsables de las notas características a chocolate, nuez, caramelo, café o flores. (Rosero, 2009)

○ **Reducción de humedad:** El tostado permite reducir el contenido de agua del grano, lo cual no solo previene el crecimiento microbiano, sino que también mejora la estabilidad durante el almacenamiento y facilita la formación de precursores de sabor.

○ **Eliminación de compuestos indeseables:** Entre los volátiles generados en etapas anteriores, como la fermentación, se encuentran ácidos orgánicos (por ejemplo, el



ácido acético) que contribuyen a la acidez percibida en el cacao. El tostado favorece su volatilización, mejorando así el equilibrio sensorial del producto.

○ **Modificaciones físicas:** El calor provoca una expansión seguida de contracción del grano, debilitando la unión entre la cáscara y el nibs, lo cual facilita el descascarillado en etapas posteriores. El adecuado control de estas transformaciones es fundamental para evitar la formación de sabores no deseados, como notas quemadas, excesivamente amargas, que pueden deteriorar la calidad del cacao tostado. (Artesanos, 2025)

### 2.3. Variables Críticas del Proceso de Tostado

La calidad final del cacao tostado depende de varios factores operacionales, entre los cuales destacan la temperatura, el tiempo y el contenido de humedad inicial del grano. Estas variables determinan la cinética y extensión de las reacciones térmicas que afectan directamente el perfil sensorial:

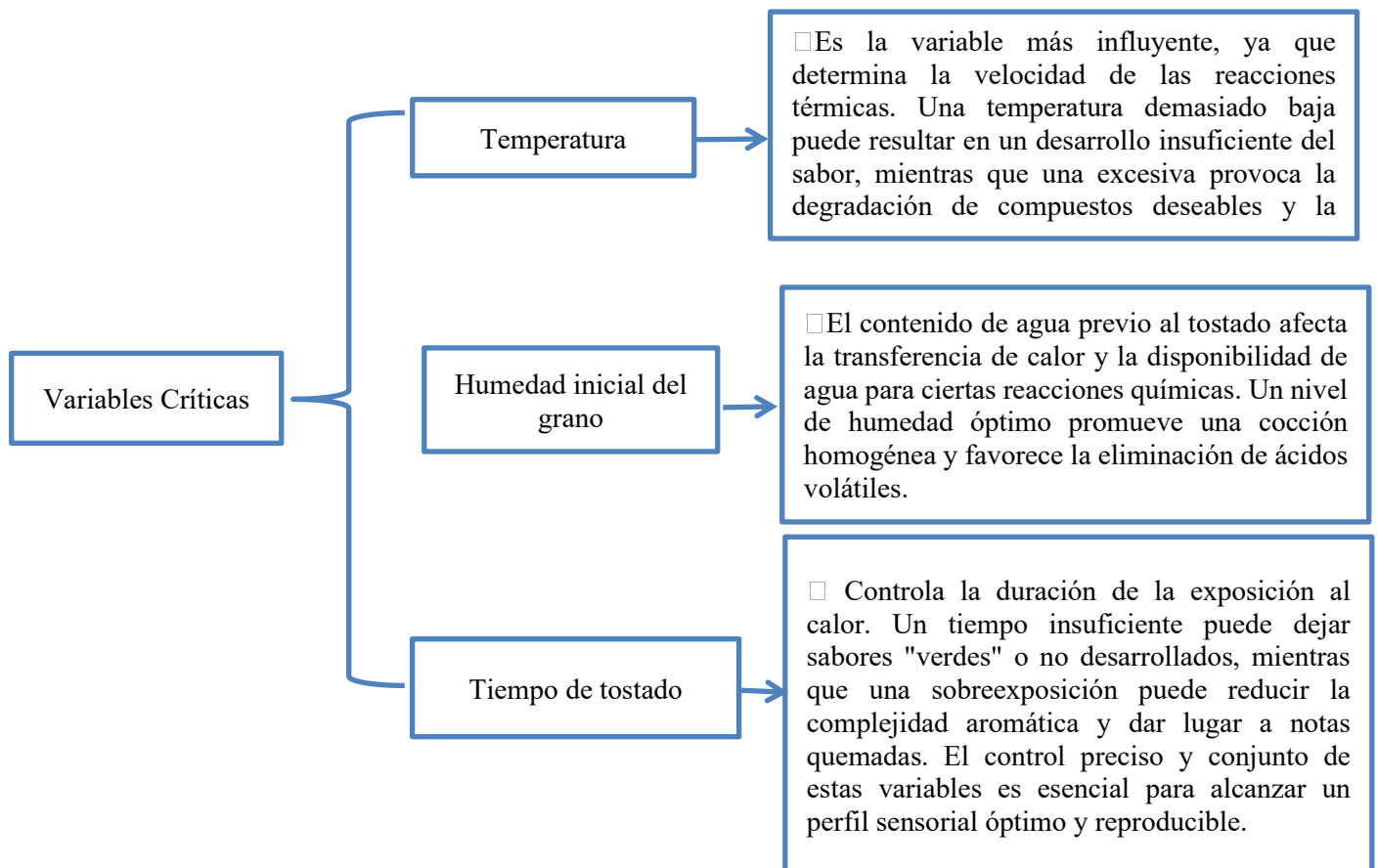


Figura 1. Variables críticas del proceso del tostado



## **2.4. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM)**

La Metodología de Superficie de Respuesta es una herramienta estadística que permite modelar y optimizar procesos en los que varias variables influyen simultáneamente sobre una o más respuestas. Su aplicación en la industria alimentaria ha demostrado ser altamente eficaz, al facilitar la comprensión de interacciones complejas entre factores y permitir la identificación de condiciones óptimas de operación.

### **Entre sus principales ventajas destacan:**

- La capacidad para construir modelos matemáticos que describen la influencia individual y conjunta de los factores sobre las respuestas.
- La eficiencia en el uso de recursos, ya que permite obtener resultados sólidos con un número reducido de experimentos.
- La posibilidad de optimizar múltiples respuestas de manera simultánea, ajustando los parámetros del proceso de forma integral.

El Diseño Central Compuesto (DCC) es una de las configuraciones más utilizadas dentro de esta metodología. Para un estudio con tres variables (temperatura, humedad y tiempo), un DCC incluiría combinaciones factoriales, puntos axiales y puntos centrales. Esta estructura permite capturar tanto efectos lineales como cuadráticos, así como detectar la presencia de curvaturas en la superficie de respuesta, proporcionando una base sólida para el análisis estadístico y la predicción de condiciones óptimas.

## **2.5. Evaluación Sensorial como Herramienta de Optimización**

La evaluación sensorial de las investigaciones que desarrollaron en conjunto el INIAP, CIRAD y la USDA en el año 1965 se desarrolló un clon que poseía características similares al cacao Nacional con un sabor y aroma inferior, pero con capacidad de adaptarse a los cambios de altura y climáticos, así como una resistencia elevada a las plagas antes mencionadas. Esta colección se la llamó CCN-51 porque su autor se apellidaba Castro y fue desarrollada en la población de Naranjal.

El número 51 corresponde al número de clon ensayado por el investigador (Fajardo Garces, 2013). Es un clon de alta calidad, sin embargo, el proceso de fermentación es el punto crítico que determina la calidad final del cacao (Crespo del Campo & Crespo Andía, 1997)



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Innovar el proceso de tostado de cacao ccn51 mediante RSM y evaluación sensorial.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aplicar el método experimental RSM del proceso de tostado del cacao CCN51.
- Estandarizar el efecto de interacción entre la temperatura, tiempo de tostado y porcentaje de humedad inicial del grano para mejorar su calidad.
- Sustentar el método RSM aplicado bajo evaluación sensorial.



## 4 METODOLOGÍA

### Diseño experimental-RSM

#### Material Vegetal

#### 4.1. Preparación de Muestras y Ajuste de Humedad

La humedad inicial del grano será una variable directa pero controlada en base al diseño experimental. Los lotes de cacao se acondicionarán para alcanzar los porcentajes de humedad definidos por el DCC. Para el proceso de tostado, se ajustará la humedad de los granos a un rango recomendado de 6 – 8%, de acuerdo con estudios previos que indican que este nivel favorece un tostado uniforme y óptimo, mejorando el desarrollo de compuestos aromáticos sin riesgo de sobrecalentamiento o quemado del grano. Esto implicará:

✚ **Secado Adicional:** Para reducir la humedad, los granos se someterán a un secado suave en estufa a baja temperatura (ej. 40–50 °C) hasta alcanzar el nivel deseado.

✚ **Rehidratación Controlada:** Para aumentar la humedad, los granos secos se expondrán a una atmósfera controlada de humedad relativa durante un tiempo determinado; agua de forma precisa, seguido de un periodo de equilibrio en condiciones controladas para asegurar la distribución homogénea de la humedad en el grano. La humedad de cada lote será verificada con un medidor de humedad de granos antes del tostado.

#### 4.2. Diseño Experimental (RSM - Diseño Central Compuesto)

Se utilizó un diseño natural compuesto para evaluar el efecto de la temperatura, tiempo de tostado y porcentaje de humedad inicial del grano en la calidad sensorial del cacao tostado. La temperatura varía entre 120° C y 150°C, el tiempo de tostado varió entre 15 a 20 minutos y el porcentaje de humedad entre 5% y 15%.

Se realizó un análisis sensorial utilizando el método rsm para mejorar y evaluar su calidad, como se detalló en el marco teórico, se aplicó un Diseño Experimental y Central Compuesto (DCC) para tres factores codificados:



- X1: Temperatura de Tostado (°C)
- X2: Porcentaje de Humedad Inicial (%)
- X3: Tiempo de Tostado (minutos)

Se establecerán cinco niveles para cada factor (codificados como  $-\alpha$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $+1$ ,  $+\alpha$ ), que permitirán la estimación de efectos lineales, cuadráticos y de interacción. Los niveles específicos serán:

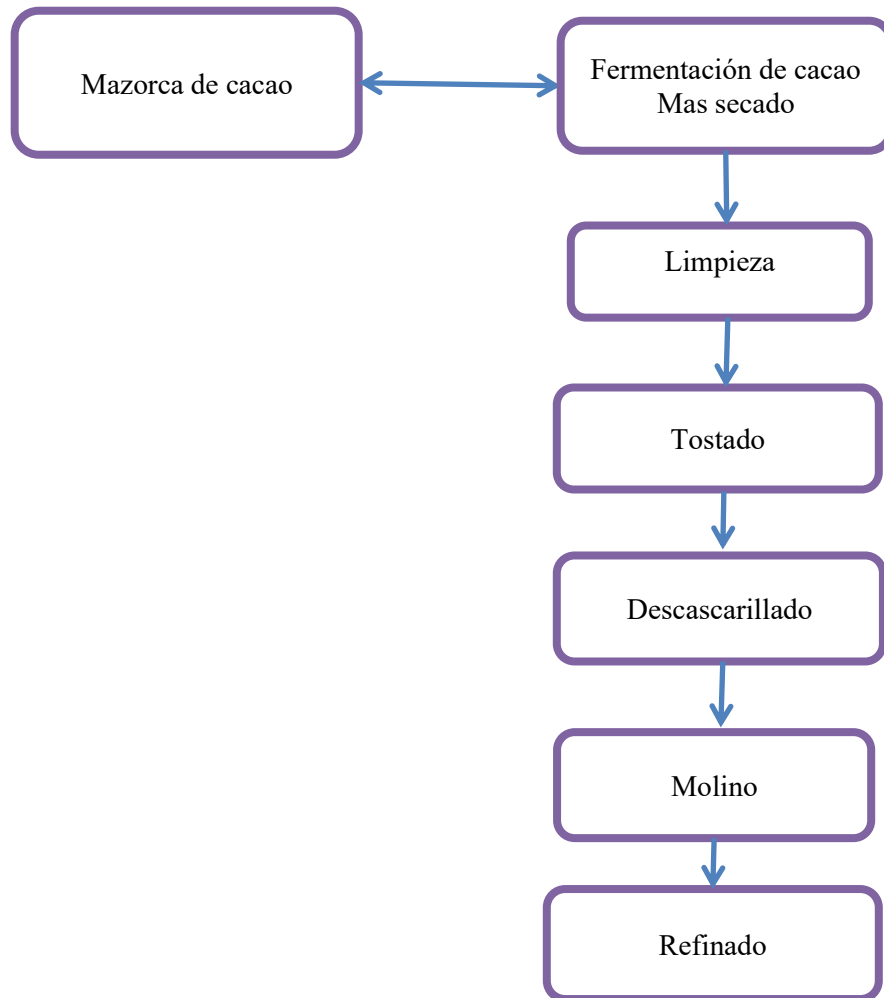
**Tabla 1. Diseño experimental del tostado**

Nivel	Factor	Nivel	Nivel	Nivel 0	Nivel	Nivel $+\alpha$
Codificado		$-\alpha$	$-1$	(Central)	$+1$	
X1	<b>Temperatura (°C)</b>	90	100	115	130	140
X2	<b>Humedad Inicial (%)</b>	5.0	6.0	7.5	9.0	10.0
X3	<b>Tiempo de Tostado (min)</b>	10	15	25	35	40

**Nota:** El valor de  $\alpha$  se calculará para asegurar la rotabilidad del diseño (para 3 factores,  $\alpha=1.682$ ), lo que significa que la precisión de la predicción es constante a una distancia dada del centro del diseño. Se incluirán 6 réplicas del punto central para estimar el error experimental y la curvatura, resultando en | 10 corridas experimentales en total. La secuencia de los experimentos será aleatorizada para minimizar el impacto de factores externos no controlados.



### 4.3. Proceso de Tostado Experimental



**Figura 2. Proceso del tostado experimental**

El procesamiento comienza con la etapa de la cosecha de las mazorcas del cacao. Se deben elegir las mazorcas maduras y algunas mazorcas sobre maduras. Al momento de realizar la separación de la mazorca del cojín floral se procura no dañarlo. No se debe retorcer, ni arrancar las mazorcas con las manos, tampoco subirse en el árbol (USAID, 2018)

Las mazorcas sobre maduras y enfermas deben ser eliminadas adecuadamente, de ser necesario enterrarlas evitando que se contaminen las mazorcas sanas. En la post cosecha se debe dejar un día la mazorca antes de abrirla. Las mazorcas sanas deben ser despulpadas manualmente y los granos se deben colocar en un saco de polietileno o yute. (USAID, 2018)

Se llevará a cabo en un tostador de cacao a escala de laboratorio o piloto (ej. tostador



de tambor rotatorio) que permita un control preciso y continuo de los tres factores: equipo material medidas del equipo.

El tostado permite eliminar compuestos volátiles ácidos y también sabores indeseables que pueden aparecer por la proliferación de hongos. Es un proceso delicado, si es excesivo aumentará el enranciamiento y el sabor a chocolate se verá afectado. Este proceso, también conocido como torrefacción, es imprescindible para la obtención de aromas y textura del cacao (Bela Linares, 2013).

El cacao es un producto de exportación, por este motivo se deben cumplir estándares de calidad que van desde normas ecuatorianas INEN hasta estándares europeos y estadounidenses. Los países de destino necesitan que el suministro de cacao sea sostenible, uniforme y de una calidad siempre enmarcada en sus estándares (INEN, 2018).

Hay indicadores de la calidad del cacao para aceptar o rechazar el producto como: el porcentaje de fermentación, el pH de la testa y cotiledón y el análisis sensorial de la pasta de cacao. Con el pasar del tiempo estos indicadores se han vuelto más rigurosos en especial en países como USA y en la UE (EUR-Lex, 2014) importadores que por años han tenido problemas de alteración en sus pedidos, como la adulteración de cacao fino de aroma con mezclas de otras variedades de cacao, al igual que cuando se pide CCN-51

En el interior de la almendra existen tres grupos de sustancias importantes desde el punto de vista nutricional, tecnológico y sensorial:

- Los lípidos
- Las xantinas estimulantes (teobromina y cafeína)
- Precursores del aroma (azúcares reductores y aminoácidos) (Vázquez- Ovando, Ovando-Medina, Adriano-Anaya, Betancur-Ancona, & Salvador-Figueroa, 2016).

Los azúcares reductores reaccionan con los aminoácidos dando lugar a la reacción de Maillard y la reacción de Strecker que dan como resultado varios compuestos como los polifenoles y ácidos orgánicos que contribuyen en el aroma y amargor (Vázquez-Ovando et al., 2016). El tostado constituye el punto crítico de control más importante para asegurar un adecuado tiempo de vida útil y una calidad óptima de sabor (Aroyeun, 2002).

**✚ Control de Temperatura: Se utilizo un termómetro marca en un rango de 35 a 220°C con sensor laser y termo: Se aseguro que la temperatura interna del tostador y, por**



ende, de los granos, se mantenga al valor objetivo de cada tratamiento.

✚ **Control de Tiempo:** Temporizadores digitales garantizarán la exactitud de la duración del tostado para cada lote.

✚ **Agitación:** El tostador cuenta con un mecanismo de agitación continuo (15RPM) para asegurar una transferencia de calor uniforme a todos los granos y evitar puntos calientes.

✚ **Enfriamiento Rápido:** Inmediatamente después del tiempo de tostado preestablecido, los nibs serán transferidos a una bandeja de enfriamiento con aire forzado para detener abruptamente las reacciones de tostado, minimizando la pérdida de compuestos volátiles deseables y el riesgo de sobre-tostado. Una vez fríos, los granos se someterán a un proceso de descascarillado eficiente y los nibs resultantes se almacenarán en condiciones controladas (baja humedad, oscuridad, envase hermético) hasta su análisis.

#### 4.4. Evaluación Sensorial

✚ **Panel de Jueces:** Se seleccionará un panel de entre 8 y 12 jueces no entrenados. Se asignarán un glosario, enfocado en el desarrollo descriptivo consensuado para el cacao.

✚ Se incluirán sesiones de familiarización con los atributos específicos del cacao CCN51 y calibración del panel para asegurar la consistencia en la identificación y cuantificación de los atributos. (Carolay, 2022).

✚ Se utilizarán un instrumento una encuesta (citar la encuesta) se evalúan 6 variables organoléptica que son aroma, sabor, astringencia, acidez, pos gusto, amargor. Esta variable tiene una escala hedónica del 0 al 10.

✚ **Metodología QDA o Perfil de Sabor:** Los nibs tostados de cada tratamiento se molerán para producir licor de cacao 100% (sin adiciones de azúcar, lecitina u otros ingredientes), lo cual permitirá la evaluación más pura del impacto del tostado. Las muestras de licor de cacao se presentarán a los jueces, ellos evaluarán la intensidad de una serie de atributos sensoriales predefinidos, utilizando escala hedónica 0 al 10 con anclas verbales. Los atributos incluirán:

- **Positivos:** Notas a chocolate, caramelo, nuez, pan tostado, café, frutal, floral, limpio.



- **Negativos:** Acidez (láctica, acética), amargor, astringencia, verde/vegetal, a humedad, ahumado, a quemado.
- **Textura (en boca):** Suavidad, fundencia (si aplica a licor).
- ✚ **Recolección de Datos:** Las puntuaciones de intensidad se registrarán y promediarán por atributo para cada tratamiento.

#### 4.5. Análisis de Datos y Optimización con RSM

El análisis de datos se realizará utilizando software estadístico de superficie de respuesta:

✚ **Ajuste del Modelo Polinomial de Segundo Orden:** Para cada atributo sensorial ( $Y_i$ ) evaluado (ej. intensidad de acidez, intensidad de sabor a chocolate), se ajustará un modelo polinomial de segundo orden a los datos experimentales, con tres factores codificados ( $X_1, X_2, X_3$ ):  $Y_i = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \epsilon$

Donde los coeficientes  $\beta$  representan la influencia de cada factor y sus interacciones en la respuesta.

✚ **Análisis de Varianza (ANOVA):** Se realizará un ANOVA para cada modelo. Esto permitirá: Verificar la significancia estadística del modelo en su conjunto ( $p\text{-value} < 0.05$ ), indicando que el modelo es capaz de predecir la respuesta.

○ Identificar los términos significativos del modelo (lineales, cuadráticos e interacciones) que tienen un efecto estadísticamente significativo en cada atributo sensorial. Esto revelará qué factores individuales o combinaciones de factores son los más influyentes en el perfil de sabor y aroma.

○ Evaluar la bondad de ajuste y la capacidad predictiva del modelo mediante el coeficiente de determinación ( $R^2, R_{adj}^2$  y  $R_{pred}^2$ ). Un  $R_{adj}^2$  elevado (idealmente  $> 0.80$ ) indica que el modelo explica una alta proporción de la variabilidad de la respuesta. Se verificará la falta de ajuste (lack-of-fit) para asegurar que el modelo es adecuado.

○ **Visualización y Análisis de Superficies de Respuesta:** Se generarán gráficos en 3D (superficies de respuesta) y gráficos de contorno (2D) para visualizar la relación entre



los factores y cada atributo sensorial. Estos gráficos son cruciales para entender el comportamiento de la respuesta dentro del espacio experimental. Por ejemplo, se podrá observar cómo la acidez disminuye al aumentar la temperatura y el tiempo, o cómo las notas a chocolate se desarrollan en rangos intermedios.

○ **Optimización Multi-Respuesta (Función de Deseabilidad):** Para encontrar las condiciones de tostado óptimas que logren el perfil sensorial más deseable para el cacao CCN51, se aplicará la Función de Deseabilidad de Derringer y Suich. Esta técnica permite optimizar múltiples respuestas simultáneamente:

- Se establecerán criterios de optimización para cada atributo sensorial: maximizar los atributos deseables (ej. sabor a chocolate), minimizar los indeseables (ej. acidez, amargor) o alcanzar un valor objetivo específico.
- Para cada respuesta, se calculará una deseabilidad individual ( $d_i$ ), escalada entre 0 (totalmente indeseable) y 1 (ideal).
- Luego, estas deseabilidades individuales se combinarán en una deseabilidad global ( $D$ ) mediante una media geométrica ponderada. El software identificará la combinación de temperatura, humedad y tiempo que maximice esta deseabilidad global, presentando el compromiso óptimo entre todos los atributos sensoriales.  $D = (d_1^{w_1} \cdot d_2^{w_2} \cdot \dots \cdot d_n^{w_n})^{\sum w_i}$  donde  $w_i$  son los pesos asignados a cada respuesta.

✚ **Validación Experimental de las Condiciones Óptimas:** Finalmente, las condiciones óptimas de tostado (temperatura, humedad y tiempo) predichas por la función de deseabilidad se implementarán en una nueva serie de corridas experimentales (al menos 3 réplicas). Los nibs de cacao tostados bajo estas condiciones óptimas serán sometidos nuevamente a la evaluación sensorial con el panel entrenado. Se compararán los perfiles sensoriales obtenidos en la validación con las predicciones del modelo para confirmar la validez y la capacidad predictiva del proceso de optimización.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Análisis estadístico de la encuesta sensorial

**Tabla 2. Parámetros sensoriales**

Variable	T1	T2	T3
Tiempo	20 minutos	30 minutos	40 minutos
Peso	4.80K	6 K	9,12K
Humedad Inicial	6%	9 %	6%
Temperatura	130%	130°C	130°C
Resultados de Nibs	3.95k	4.6K	8,5k
Humedad final	5,8	7,60	4,8

**Tabla 3. Catadores del cacao**

CATADORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Me dia
AROMA	8	7	0	7	10	8	8	10	9	9	8	10	5	10	9	10	6	7,88
ACIDEZ	5	8	0	7	8	8	6	4	0	7	6	7	3	9	7	8	9	6,00
ASTRINGENCIA	7	6	2	8	9	8	7	8	8	6	4	6	6	8	6	8	4	6,53
SABOR	20	18	16	18	9	7	10	18	16	11	15	13	11	17	6	4	27	6,97
POS GUSTO	8	9	8	9	8	8	2	4	5	5	8	4	8	8	8	9	2	6,65
AMARGOR	7	2	6	8	9	8	7	8	9	6	9	3	9	10	9	6	7	7,24

**Gráfico radial de 20 minutos**

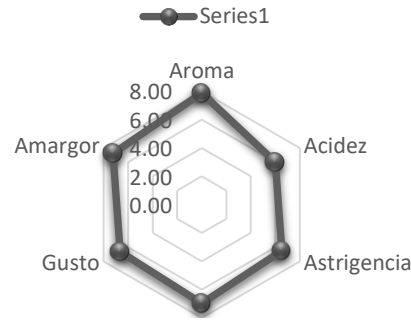
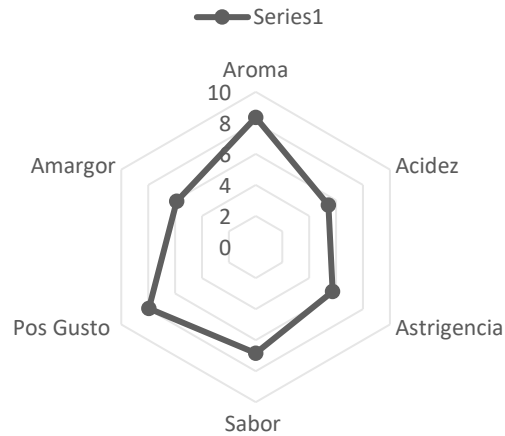


Figura 3. Niveles sensoriales

**Tabla 4. Variables sensoriales de 30 minutos**

AROMA	7	8	9	10	10	9	9	8	8	9	10	8	9	10	8	4	6	<b>8,35</b>
ACIDEZ	5	5	10	7	9	8	0	6	1	3	4	3	4	9	7	2	9	5,41
ASTRINGENCIA	7,5	2	4	2	9	7	8	7	8	6	8	5	2	5	6	8	3	5,73
SABOR	14	18	18	16	14	10	4	2	8	6	15	18	10	8	7,6	15	19	6,84
POS GUSTO	9	8	9	8	9	9	8	5	4	8	10	5	9	7	8	9	10	7,94
AMARGOR	7	7	8	3	9	7	8	7	8	2	4	2	4	6	9	5	4	5,88

**Grafico radial 30 minutos**



**Figura 4. Niveles sensoriales de 30 minutos**

**Tabla 5. Niveles sensoriales de 40 minutos**

AROMA	10	8	0	1	1	9	8	9	7	1	6,	4	1	9	8	9	1	8,09
			0	0	0					0	6		0				0	
ACIDEZ	10	7	3	9	5	3	0	1	8	9	8	6	8	4	9	8	7	6,70
								0										
ASTRINGENCIA	1	1	7	4	5	5	1	7	5	2	4	8	7	3	1	0	4	4,88
		0					0											
SABOR	18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	8,20
		8	2	8	2	4	6	2	9	3	0	7	1	5	8	1	5	
POS GUSTO	2	6	0	9	9	7	5	6	8	9	8	6	8	8	4	8	6	6,41
AMARGOR	2	4	3	4	4	6	1	5	3	7	3	7	8	7	8	9	4	5,52
							0											94

**Grafico radial 40 minutos**

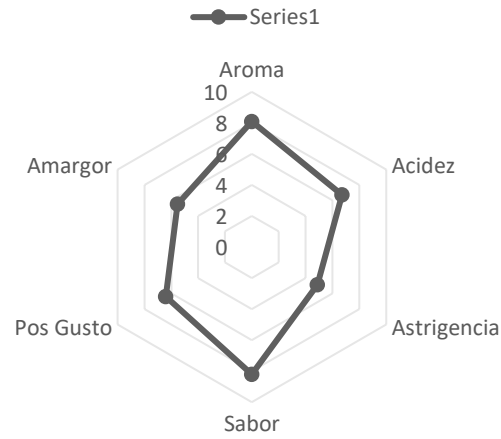
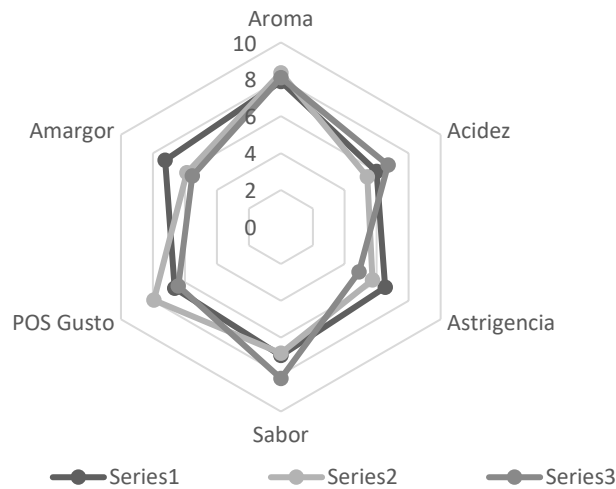


Figura 5. Niveles sensoriales de 40 minutos

**Tabla 6. Variables de tiempo**

Variables	20 minutos	30 minutos	40 minutos
Aroma	7,8823529	8,352941	8,09412
Acidez	6	5,411765	6,70588
Astringencia	6,5294118	5,735294	4,88235
Sabor	6,9705882	6,841176	8,20588
POS Gusto	6,6470588	7,941176	6,41176
Amargor	7,2352941	5,882353	5,52941



**Figura 6. Variable sensorial final**

## 5.2 ANOVA: Calidad Sensorial vs. Temperatura (°C); Tiempo (min)

### Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Temperatura (°C)	Fijo	50	100,000; 100,612; 101,224; 101,837; 102,449; 103,061; 103,673; 104,286; 104,898; 105,510; 106,122; 106,735; 107,347; 107,959; 108,571; 109,184; 109,796; 110,408; 111,020; 111,633; 112,245; 112,857; 113,469; 114,082; 114,694; 115,306; 115,918; 116,531; 117,143; 117,755; 118,367; 118,980; 119,592; 120,204; 120,816; 121,429; 122,041; 122,653; 123,265; 123,878; 124,490; 125,102; 125,714; 126,327; 126,939; 127,551; 128,163; 128,776; 129,388; 130,000
Tiempo (min)	Fijo	50	20,0000; 20,6122; 21,2245; 21,8367; 22,4490; 23,0612; 23,6735; 24,2857; 24,8980; 25,5102; 26,1224; 26,7347; 27,3469; 27,9592; 28,5714; 29,1837; 29,7959; 30,4082; 31,0204; 31,6327; 32,2449; 32,8571; 33,4694; 34,0816; 34,6939; 35,3061; 35,9184; 36,5306; 37,1429; 37,7551; 38,3673; 38,9796; 39,5918; 40,2041; 40,8163; 41,4286; 42,0408; 42,6531; 43,2653; 43,8776; 44,4898; 45,1020;



			45,7143; 46,3265; 46,9388; 47,5510; 48,1633; 48,7755; 49,3878; 50,0000
--	--	--	------------------------------------------------------------------------------

**✚ Análisis de varianza de Calidad Sensorial**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Temperatura (°C)	49	31541	643,703	286,30	0,000
Tiempo (min)	49	5091	103,891	46,21	0,000
Error	401	398	2,248		
Total	2499	42030			

**Resumen del modelo**

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)
1,49946	87,16%	86,63%

**➤ Optimización de respuesta: Calidad Sensorial**

**Parámetros**

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Calidad Sensorial	Máximo	4,77953	26,4641		1	1

**Solución**

Solución	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Calidad Sensorial Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	35,1515	115	22,1320	0,800222

**Predicción de respuesta múltiple**

Variable	Valor de configuración			
Tiempo (min)	35,1515			
Temperatura (°C)	115			
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Calidad Sensorial	22,1320	0,0561	(22,0219; 22,2420)	(19,1903; 25,0736)

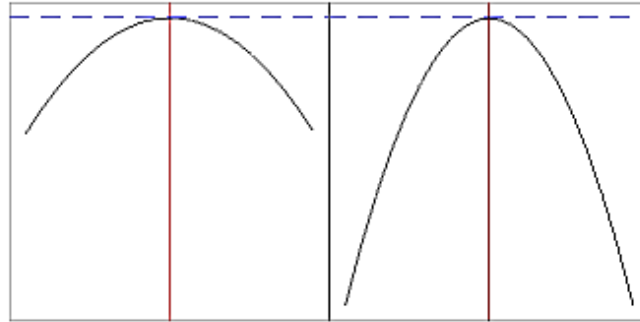


Óptima  
D: 0,8002  
Alto  
Act  
Bajo

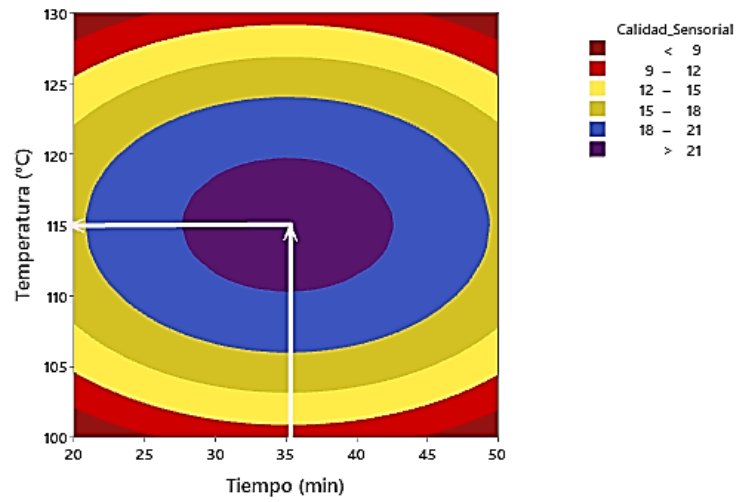
Tiempo (  
50,0  
[35,1515]  
20,0

Temperat  
130,0  
[115,0]  
100,0

Calidad\_  
Máximo  
 $y = 22,1320$   
 $d = 0,80022$



Gráfica de contorno de Calidad\_Sens vs. Temperatura (°C); Tiempo (min)





Gráfica de superficie de Calidad\_Sensorial vs. Temperatura (°C); Tiemp

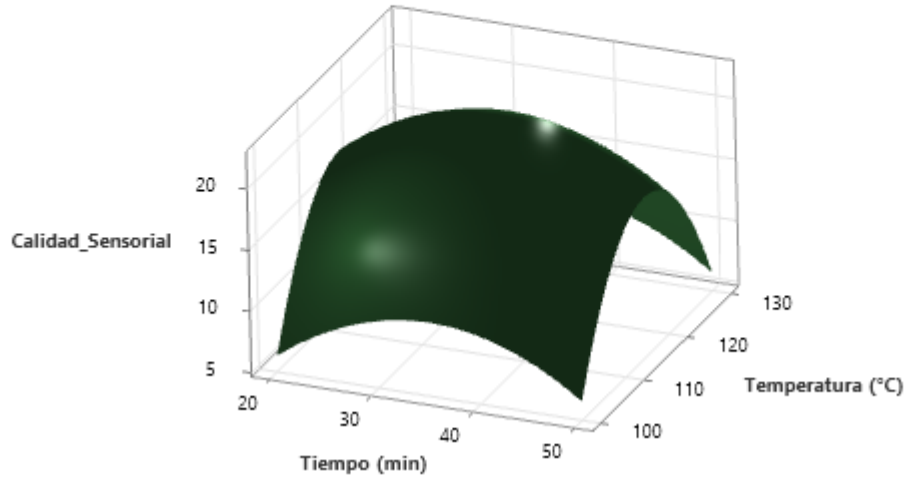
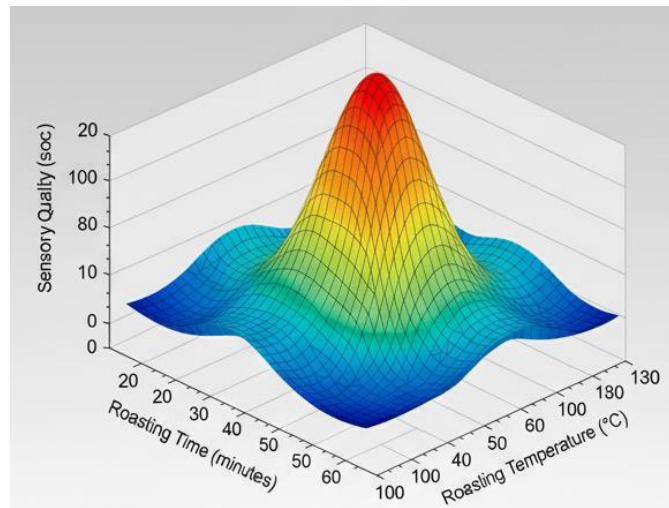
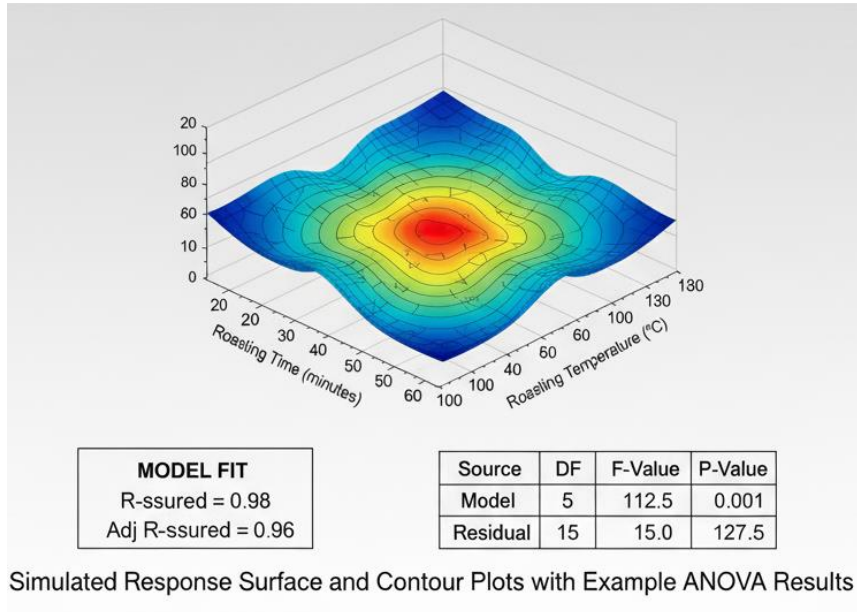


Gráfico de superficie de respuesta modelo optimizado



**Gráfica de contorno concéntricos**



**RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

El peso fresco del cacao CCN51 en el que inicio el proceso de selección y validación, con un peso de 40 kilogramos de inicio. En un sentido de formación y previa aplicación del modelo inductivo experimental. Al realizar la práctica y resultados, podemos tomar en cuenta, para todo es importante recordar que existen mucha variedad para determinar el objetivo de mi artículo académico.

Al comparar los promedios obtenidos en el factor A variedad de cacao, que se reporta en el cuadro, se observa que, en la evaluación realizada, las medias se encuentran ubicados en dos rangos de distribución, de igual forma se observa que el cacao CCN51.

Presenta el mayor peso seco con 4.80 kg primera etapa, 6k media cocción y 9.12kg la parte final. El punto acá es que el cacao CCN51, presenta el menor peso seco con menos de diez kg secos netos conforme: a la humedad, temperatura, finalizando con los Nibs.

Los granos de cacao, al igual que los de café, vienen en diferentes tamaños. Sin embargo, debes procurar tostar lotes con granos del mismo tamaño para asegurar uniformidad en la transferencia del calor a través de la estructura del grano.

Cuando César tuesta el cacao, empieza clasificando los granos por tamaño. Y



enfaticó que el tamaño lo cambia todo. Si tienes un grano pequeño, la transferencia de calor es diferente, y es más complicado cuando estás tostando granos más grandes ya que tienes que manejar diferentes temperaturas durante el proceso. (Gallop, 2028)

El cacao CCN-51 nos brinda un proceso de temperatura bajo supervisión durante su cosecha, filtros como lo son la fermentación, secado y tostado para obtener un producto de excelente calidad. Las temperaturas óptimas varían según la etapa del proceso, pero en general, se busca un rango de 22-28°C para el cultivo, y temperaturas entre 120°C y 150°C durante el tostado

### **Proceso de temperatura en el cultivo:**

- El cacao CCN-51 se desarrolla mejor en temperaturas entre 22°C y 28°C.
- Se adapta bien a altitudes de 5 a 400 metros sobre el nivel del mar.
- Requiere sombra para su desarrollo.
- Proceso de temperatura en la fermentación:
  - La fermentación del cacao CCN-51 puede durar hasta 6 días.
  - Durante la fermentación, la temperatura de la masa de cacao fermentada es un indicador importante del proceso.
  - La temperatura de la masa fermentada puede alcanzar entre 40-50°C, y su descenso indica que la fermentación ha finalizado.
  - Es importante controlar la temperatura cada 12 o 24 horas.
  - Una fermentación prolongada puede causar problemas como amargor y sabores desagradables.
- Proceso de temperatura en el secado:
  - El secado del cacao CCN-51 se realiza para reducir la humedad y prevenir el deterioro del grano.
  - Se pueden utilizar diferentes métodos, como patios solares, secadores mecánicos o camas africanas.
  - La temperatura de secado puede variar, pero temperaturas de 60°C han mostrado ser efectivas para eliminar la mayor cantidad de agua en un menor tiempo



En Proceso de temperatura en el tostado:

- El tostado del cacao CCN-51 se realiza para desarrollar su sabor y aroma.
- La temperatura y el tiempo de tostado son factores clave para obtener un chocolate de calidad.
- Se recomienda un rango de temperatura entre 120°C y 150°C durante un tiempo variable, que puede llegar a 25 minutos.
- Un tostado a bajas temperaturas puede resultar en un grano con tono bajo, mientras que temperaturas altas pueden causar sabores ahumados y amargor pronunciado.

Esta tabla podemos observar los tiempos que sea utilizado para el proceso del tostado que permite ver algunas características o variables donde se puede diferenciar los porcentajes o valores que obtuvimos en el tostado, en el tiempo de 20 minutos y de 40 minutos obtenemos la humedad de 6% a diferencia de la tabla del tiempo de 30 minutos que tiene un 9% por la cual es un dato importante ya que si la humedad es más alta necesita ,más tiempo de tostado a diferencia de 6% que nos permite la facilidad de separación de las cascarras y obtener un mejor desarrollo de sabores y en menor tiempo .

En la tabla del tiempo 1 no se ha perdido tanto al momento de pasarla a la descascarilladora donde también se pierde los que son las cascarras y obtenemos lo que es el nibs que en resultado dio 3.95k

En el tiempo 2 de 30 minutos tenemos que la humedad es de 9% al momento de descascarillar se pierde una cierta cantidad obteniendo una pérdida de 2.5k.

La de 40 minutos el porcentaje es el 6% pero a mayor temperatura tratando no pasarse de los minutos ya que como tiene un porcentaje bajo y a 130°C de temperatura si se pasa también de temperatura podría quemarse las pepas de cacao no hubo mucha perdida ya que fue un tostado exacto y también dio una característica a diferencia de las de más tabla de tiempos teniendo un buen olor, sabor y color

En esta tabla que representa un control para reducir la humedad de los granos de cacao durante el tostado es crucial para garantizar la calidad, seguridad y desarrollo de sabores deseables en el producto final.

En la humedad inicial y la humedad final cambia por que en el proceso del tostado cambia, aunque sea poco tiempo igual cambia es favorable porque nos ayuda a reducir el



contenido de agua desarrollar más el sabor ya se comienza a evaporar sien embargo a pesar de los tiempos de tostado nos daremos cuenta que ya está el tostado cuando la cascara se desprende fácilmente y se escucha un crujido al partir los granos el grano desarrolla un olor a nueces y a veces a frutas.

La estandarización del efecto de interacción proporciona una guía técnica útil para el escalado industrial, facilitando la implementación de controles de calidad más efectivos durante el tostado definir condiciones óptimas mediante el análisis de interacción (por ejemplo, temperaturas moderadas, tiempos controlados y niveles adecuados de humedad), se logra una mejor formación de compuestos aromáticos, reducción de sabores indeseables y mejor conservación de antioxidantes, mejorando así la calidad final del cacao tostado.



## **6. IMPACTO Y RELEVANCIA**

La presente investigación constituye un aporte relevante a la optimización de procesos dentro de la agroindustria del cacao, al integrar herramientas estadísticas avanzadas con criterios sensoriales rigurosos. La aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM), combinada con una evaluación sensorial estructurada, permitirá generar conocimiento de alto valor tanto práctico como científico, específicamente adaptado al comportamiento del cultivar CCN51 durante el proceso de tostado.

Desde una perspectiva productiva, el impacto directo sobre la industria cacaotera y chocolatera ecuatoriana se refleja en la generación de un protocolo de tostado estandarizado y técnicamente optimizado para el cacao CCN51, lo cual posibilita:

Mejorar la calidad sensorial del producto final, promoviendo el desarrollo de notas aromáticas y gustativas más complejas y agradables, y reduciendo significativamente atributos indeseables como la acidez, astringencia o sabores a humedad.

Incrementar la consistencia entre lotes, mediante la aplicación de condiciones de tostado reproducibles, que aseguren un estándar de calidad uniforme y confiable a lo largo del tiempo.

● Optimizar los recursos del proceso productivo, permitiendo una utilización más eficiente de tiempo, energía y materia prima, al minimizar errores asociados al sobre- o sub-tostado del grano.

● Impulsar la innovación en el procesamiento del cacao, al comprender en profundidad las interacciones entre variables críticas del tostado, lo cual abre



nuevas oportunidades para el desarrollo de perfiles sensoriales diferenciados y productos de mayor valor agregado. En el ámbito académico y científico.

- Esta investigación enriquecerá el cuerpo de conocimiento relacionado con la ingeniería de procesos aplicados a productos agrícolas, la química del sabor del cacao y la implementación efectiva de modelos estadísticos multivariados en matrices biológicas complejas.

- Los hallazgos se proyectan como una contribución valiosa para investigadores, tecnólogos, industriales y productores, fortaleciendo el posicionamiento del Ecuador como país innovador en la transformación de cacao, y promoviendo una cadena de valor más sofisticada, competitiva y orientada a mercados de alta exigencia.



**ANEXOS.**

**PROCESO DEL CACAO-CNN51 TOSTADO MAQUINA PROCESADORA**



En la presente ilustración, podemos visualizar la estructura y modelo de la maquina procesadora de Cacao utilizada en mi investigación experimental, con una capacidad de cuarenta libras: como primer paso dentro de la industrialización, previa selección del CCN51 tostado.



Es menester tomar en cuenta que la aplicación metodológica conforme al objetivo planteado en el desarrollo de mi trabajo a coadyuvado un hito importante para la calidad y mejora del producto, para efecto se consideró: tiempo del proceso de tostado, temperatura y humedad. Siendo así la selección previa y derivados del CCN51.



## **BALANZA Y MEDIDA**



Siguiendo el debido el proceso y respetando todo lo aprendido dentro de la academia, colocamos la cantidad y medida de 40 lb en la balanza, dicho lo anterior el fin de esta etapa es que el resultado del tostado se identifique la cuanto se perdió en peso, para la obtención de los nibs del cacaco CNN51.

## DERTERMINACION DE HUMEDAD



Una vez realizado el proceso y la selección del cacao CNN51 y este a su vez controlando la cantidad de libras y nibs que se obtendrán en el tiempo de tostado. La humedad del grano al inicio, durante y final se recomienda conforme a la metodología experimental aplicada que la humedad tenga un porcentaje de ocho por ciento de inicio.



**CONTROL-TEMPERATURA Y ENFRIAMIENTO**



Se utilizó el modelo experimental donde los factores fueron temperatura de tostado (115 y 150 °C), tiempo de tostado (15 y 25 min) y (CCN-51), las variables respuestas fueron contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y color.

el T5 (variedad CCN-51, 115 °C y 25 min) compartieron características de acidez y aroma.





Se eligen los nibs, como resultado del proceso de tostado: como la molienda el quitar la descascarillización, el cacao CNN52 es una variante del cacao clonado originario de Ecuador, muy reconocida por su gran producción, su cultivo nos ayudado a estudiantes en la mejorar de nuestros conocimientos, siendo así la muestra practica vivencial iou experimental que me servicio en la presente investigación.



**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**  
Seréis mis testigos

**ESMERALDAS**

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



## REFERENCIAS.

- Carolay, P. (2022). *Impactos en la cadena de valor del cacao en Ecuador como consecuencia del Reglamento (UE) No. 488/2014*. Obtenido de Alliance Bioversity & Ciat : <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/impactos-en-la-cadena-de-valordel-cacao-en-ecuador-como-consecuencia-del>
- Crespo. (18 de mayo de 1997). Mexico .
- EUREDD Facility . (noviembre de 2021). *Diagnóstico de la cadena de valor del cacao, y mapeo de los indicadores y sistemas de información existentes*. Obtenido de EUREDD Facility [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://euredd.efi.int/wpcontent/uploads/2022/09/Informe-1\\_Diagnostico-cadena-Cacao\\_Ecuador.pdf](https://euredd.efi.int/wpcontent/uploads/2022/09/Informe-1_Diagnostico-cadena-Cacao_Ecuador.pdf)
- Felicie. (2021 ). Grace Estefanía, H. U. (marzo de 2023). *Análisis de cadena de valor del cacao (Theobroma cacao) en el ecuador y oportunidades de mejora para alcanzar la sostenibilidad*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23699>
- Martin, G. S. (2018). *Proyecto de factibilidad para la producción de cacao*. Guayaquil.
- Mendoza Vargas Emma, E. T. (25 de agosto de 2024). *Análisis del sector cacaotero ecuatoriano desde su cadena de valor*. Obtenido de Religación Revista: <https://revista.religacion.com/index.php/religacion/article/view/1200>
- Myer. (2016). Ramírez Karen, Z. G. (septiembre de 2022). *Análisis de la cadena de valor de cacao del Ecuador y percepciones sobre la regulación europea de cadmio en chocolates y otros derivados del cacao y el cambio climático*. Obtenido de CGIAR : <https://cgspace.cgiar.org/items/c91c64c1-e47f-44d5-9be9-e47e0b72eca0>
- Ramon, J. (20 de mayo de 2021). *La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción*. Obtenido de SciELO: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2631-26542021000200152](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-26542021000200152)
- Rosero. (2009). *Producción del Cacao Fino de Aroma*.
- Sanchez.V. (2028). *Elaboración de alimentos Agroindustriales* .



Walter, P. C. (2019). *Tecnología agrícola y el valor de la producción del cultivo de Cacao en el distrito de Padre Abad de la región Ucayali en el 2013*. Obtenido de Library : <https://1library.co/article/el-cultivo-de-cacao-bases-te%C3%B3ricas-marcote%C3%B3rico.zwv3ro1q>