

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

TIEMPO Y VELOCIDAD ROTACIONAL DE TOSTADO DE ÑUÑA
(*Phaseolus vulgaris* L.) SOBRE LA CAPACIDAD DE REVENTADO

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por la Bachiller:

MARIBEL NOELIT TORIBIO MONZON

Asesores:

Mtr. Ing. MAX EDWIN SANGAY TERRONES

Mtr. Ing. WILLIAM MINCHÁN QUISPE

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

MARIBEL NOELIT TORIBIO MONZON

DNI: N° 71628003

Escuela Profesional/Unidad UNC:

ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

2. Asesor:

Ing. Mtr. MAX EDWIN SANGAY TERRONES

Facultad/Unidad UNC:

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

3. Grado académico o título profesional

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. Tipo de Investigación:

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

"TIEMPO Y VELOCIDAD ROTACIONAL DE TOSTADO DE ÑUÑA (*Phaseolus vulgaris* L.) SOBRE LA CAPACIDAD DE REVENTADO"

6. Fecha de evaluación: 15/10/2025

7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN

☐ URKUND (ORIGINAL) (*)


8. Porcentaje de Informe de Similitud: 21%

9. Código Documento: oid: 3117:513171368

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 08/01/2026

<div> Ing. Mtr. MAX EDWIN SANGAY TERRONES DNI: 10492305</div>	<p>Firma y/o Sello Emisor Constancia</p>
---	--

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los dos días del mes de setiembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 334-2025-FCA-UNC, de fecha 16 de junio del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: **"TIEMPO Y VELOCIDAD ROTACIONAL DE TOSTADO DE ÑUÑA (*Phaseolus vulgaris* L.) SOBRE LA CAPACIDAD DE REVENTADO"**, realizada por la Bachiller **MARIBEL NOELIT TORIBIO MONZON** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las diez horas y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Fanny Lucía Rimarachín Chávez
PRESIDENTE

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
SECRETARIO

Dr. José Gerardo Salhuana Granados
VOCAL

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
ASESOR

Ing. Mtr. William Minchán Quispe
ASESOR

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Neptalí y Flora, quienes con su ejemplo, amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por su apoyo incondicional, dándome fortaleza para seguir avanzando día a día pese a las adversidades y no desistir de lograr este objetivo; a mis dos queridas hermanas Tati y Briceida, quienes siempre me brindan su apoyo y amor absoluto.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios, quien me ha guiado y otorgado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Pregunta general.....	2
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	2
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.5 HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1 Análisis de la capacidad de reventado	28
4.2 Análisis de la actividad de agua (a_w).....	33
4.3 Optimización de múltiples variables	38
V. CONCLUSIÓN.....	40
VI. RECOMENDACIONES	41
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
VIII. Anexos.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Contenido de aminoácidos por 100 g de porción comestible	8
Tabla 2	Tratamientos en estudio	17
Tabla 3	Variables independientes del diseño compuesto central rotacional (DCCR) 2^2 ..	17
Tabla 4	Valores codificados y valores reales del diseño compuesto central rotacional (DCCR) 2^2	18
Tabla 5	Análisis de Varianza para Capacidad de Reventado	30
Tabla 6	Análisis de Varianza para a_w	35
Tabla 7	Maximización de factores óptimos de tiempo de tostado y velocidad rotacional en ñuña variada negra.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de ubicación	14
Figura 2.	Diagrama del diseño experimental	19
Figura 3.	Flujograma del proceso de elaboración.....	20
Figura 4.	Recepción de la ñuña.....	21
Figura 5.	Selección y clasificación de la ñuña	21
Figura 6.	Pesado de las muestras.....	22
Figura 7.	Tostado de las muestras	23
Figura 8.	Envasado de la ñuña.....	24
Figura 9.	Conteo de la ñuña.....	25
Figura 10.	Ñuña tostada.....	25
Figura 11	Capacidad de reventado (%).....	29
Figura 12	Pareto estandarizado para la capacidad de reventado.....	31
Figura 13	Efectos principales para la capacidad de reventado.....	31
Figura 14	Superficie de respuesta estimada para la capacidad de reventado	32
Figura 15	Actividad de agua (aw).....	34
Figura 16	Pareto estandarizado para aw.....	36
Figura 17	Efectos principales para la aw.....	36
Figura 18	Superficie de respuesta estimada para aw.....	37
Figura 19	Superficie de respuesta estimada para deseabilidad.....	38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultado de diferentes tratamientos	46
---	----

RESUMEN

La investigación se realizó en la EP de Ingeniería en Industrias Alimentarias, tuvo como objetivo determinar el tiempo y velocidad rotacional de tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la capacidad de reventado y la actividad de agua. Los procedimientos realizados en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la UNC; para el tostado de ñuña se usó un tostador de granos a una temperatura constante de 125 °C a diferentes Tiempos y RPM y para determinar la a_w se utilizó un medidor de actividad de agua AQUALAB. Se utilizó el diseño compuesto central rotacional (DCCR) 2². Como resultados se encontró que los tratamientos T11 (tiempo de tostado: 5.0 minutos y velocidad rotacional: 95.0 RPM) y T1 (tiempo de tostado: 3.5 minutos y velocidad rotacional: 57.5 RPM) incrementan la capacidad de reventado y actividad de agua en la ñuña tostada respectivamente. Concluyendo que el tiempo de 5.7 minutos y 113.5 RPM de velocidad rotacional para el tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) maximizan la capacidad de reventado hasta un 75.03 %. El tiempo de 5.9 minutos y 116.3 RPM de velocidad rotacional para el tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) minimizan la a_w en 0.28.

Palabras claves: Ñuña, tostado, capacidad de reventado, actividad de agua.

ABSTRACT

The research was carried out at the EP of Engineering in Food Industries and its objective was to determine the time and rotational speed of roasting ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) on the popping capacity and water activity. The procedures carried out in the UNC Food Analysis Laboratory; for roasting ñuña, a grain roaster was used at a constant temperature of 125 °C at different times and RPMs, and an AQUALAB water activity meter was used to determine the a_w . The central composite rotational design (DCCR) 22 was used. As results, it was found that treatments T11 (roasting time: 5.0 minutes and rotational speed: 95.0 RPM) and T1 (roasting time: 3.5 minutes and rotational speed: 57.5 RPM) increase the popping capacity and water activity in the roasted ñuña respectively. Concluding that the time of 5.7 minutes and 113.5 RPM of rotational speed for roasting ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) maximize the popping capacity up to 75.03 %. The time of 5.9 minutes and 116.3 RPM of rotational speed for roasting ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) minimize the a_w by 0.28.

Keywords: Ñuña, roasting, popping capacity, water activity.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Con el comienzo de este milenio, donde las personas y la mayoría de los miembros de las familias trabajan, se ha optado por el consumo de comidas ligeras (snack), dentro de este segmento esta la ñuña tostada, la cual por ser una leguminosa que contiene un alto porcentaje de nutrientes con 22% de proteínas y con ello aminoácidos esenciales (INIA, 2009). Sin embargo, su cultivo está ligado a zonas altoandinas del norte y centro de américa latina (Santa Cruz & Vásquez, 2023a); de allí el hecho que falta desarrollo tecnológico en cuanto a productos terminados como el tostado.

De acuerdo a la evidencia empírica la ñuña tiene una alta productividad en el cultivo en las zonas del Valle de Condebamba, Provincias de Cajabamba y San Marcos en Cajamarca, (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016).

Los cambios en el estilo de vida y los nuevos hábitos están transformando las tendencias de consumo en la industria alimentaria; Según Robledo-Ramírez et al., (2022), el consumo de legumbres es importante para una dieta saludable, por lo tanto, la ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) por ser parte de este grupo, puede ser consumida como un snack, hecho que daría un mayor valor agregado al producto, y se consigue presentar una alternativa para elaborar snacks nutritivos con alta aceptabilidad sensorial en jóvenes universitarios.

Desde la perspectiva tecnológica, el tueste aumenta el valor nutricional del frijol, el cual queda reflejado en que un aumento en la temperatura y el tiempo de tostado reduce el contenido de humedad y carbohidratos, aumentando el contenido de grasa, fibra y cenizas, que son influyentes en las propiedades funcionales del frijol común tostado (Byarugaba et al., 2023).

1.2 Pregunta general

¿Cuál es el tiempo y velocidad rotacional de tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la capacidad de reventado?

1.3 Justificación

La ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) es una semilla que se desarrolla con mucha normalidad en valles interandinos, especialmente en Condebamba – Cajamarca, por el interés económico en los productores de estas zonas, la investigación contribuirá a la posibilidad de darle valor agregado.

Las investigaciones básicas o tecnológicas en ñuña son aún escasas en el campo de su transformación, desde esa óptica se aplicó una tecnología para el tostado, con la finalidad de evaluar su incidencia en la capacidad de reventado del producto.

La investigación con el conocimiento adquirido, contribuirá a mejorar la tecnología en el procesamiento de las leguminosas y estandarizar los procesos de tueste; lo que hará cimentar conocimientos adquiridos en las aulas universitarias y por otro lado hacer que estos se puedan aplicar a otros productos para un mejor manejo postcosecha y en la aplicación de tecnologías para su conservación y obtención de productos comerciales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar el tiempo y velocidad rotacional de tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la capacidad de reventado y la actividad de agua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el tiempo de tostado y velocidad rotacional de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la capacidad de reventado.

- Determinar el tiempo de tostado y velocidad rotacional de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la actividad de agua.

1.5 HIPÓTESIS.

El tiempo de tostado 5.00 minutos y la velocidad rotacional de 148 RPM en el tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) mejoran la capacidad de reventado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Byarugaba et al., (2023) en su investigación titulada *“Effects of Roasting Conditions on the Proximate Composition and Functional Properties of Common Bean (Phaseolus vulgaris) Flours”*, indica que cuando los frijoles se tuestan agregan calidad nutricional en su consumo ya sea individual o como mezcla alimentaria. Las temperaturas, que se utilizaron para el tostado fueron de 140, 170 y 200 °C, los tiempos que se expusieron fueron de 5, 10 y 15 min; de donde se deduce que al aumentar la temperatura y el tiempo de tostado redujo significativamente el contenido de humedad y carbohidratos, pero aumentó el contenido de grasa, fibra y cenizas. De esta investigación tomaremos tiempos y temperaturas.

Yuste-Lisbona et al., (2012) en su publicación denominada *“Effects of Roasting Conditions on the Proximate Composition and Functional Properties of Common Bean (Phaseolus vulgaris) Flours”* El frijol Nuña es un tipo de frijol común antiguo (*Phaseolus vulgaris* L.) originario de la región andina de América del Sur, que sus semillas tienen la inusual propiedad de reventar. Sus características nutricionales de las semillas reventadas las convierten en un refrigerio saludable bajo en grasas y alto en proteínas. En cuanto a su floración del frijol nuña se produce en condiciones de fotoperiodo de días cortos, lo que significa una dificultad para extender la producción a zonas donde no prevalezcan dichas condiciones. De esta investigación se identifica la variedad negra que está dentro de la que tiene las características de reventar.

Sruthi et al., (2021) en su investigación *“An overview of conventional and emerging techniques of roasting: Effect on food bioactive signatures”* indican que el tostado es una técnica de procesamiento de alimentos que emplea el principio de calentamiento para cocinar el producto de manera uniforme y mejorar la

digestibilidad, palatabilidad y aspectos sensoriales de los alimentos con modificaciones estructurales deseables de la matriz alimentaria. De esta investigación nos permitió identificar las variables de estudio.

Wang & Lim, (2015) en la investigación *“Physicochemical Characteristics of Roasted Coffee”* concluyen que el tostado desarrolla características químicas, físicas y sensoriales únicas, lo que afecta su color, fragilidad y composición química del producto. De esta investigación nos permitió identificar las variables dependientes.

Parker et al., (1999) en la investigación *“Effects of Popping on the Endosperm Cell Walls of Sorghum and Maize”* concluyen que la explosión de los granos de sorgo y maíz provoca la fragmentación de la pared celular, lo que potencialmente mejora la accesibilidad de las reservas de proteínas y almidón a las enzimas digestivas”. Esta investigación permitirá analizar los resultados de la interacción de variables de estudio en la investigación.

Castro-Campos et al., (2021) en la investigación *“Impact of the popping process on the structural and thermal properties of sorghum grains (Sorghum bicolor L. Moench)”* concluyen que hacer estallar los granos de sorgo a 210 °C durante 90 segundos aumenta su estabilidad térmica, produce una estructura ordenada similar a un panal y altera la estructura de corto alcance y la desnaturalización de las proteínas. Esta investigación permitirá analizar los resultados de la interacción de variables de estudio en la investigación.

O-Olán et al., (2018) en la investigación *“Estandarización del método de reventado para la evaluación experimental del maíz palomero”* concluyeron que la calidad de las palomitas de maíz se mejora utilizando un método convencional, un tamaño de grano de 5 a 6 mm y un contenido de humedad del 12 al 14 %, siendo los valores de color más importantes para predecir el volumen de expansión que las propiedades físicas clásicas. Esta investigación permitirá analizar la interacción de variables de estudio en la investigación referente a la humedad.

Bolek & Ozdemir, (2017) en la investigación “*Optimization of roasting conditions of microwave roasted Pistacia terebinthus beans*”, plantean que el tostado en microondas de los granos de *Pistacia terebinthus* produce granos tostados de color oscuro con un poder y tiempo de tostado óptimos, lo que resulta en un método rápido y práctico para preparar este popular frijol. Los cambios en las propiedades fisicoquímicas y los atributos sensoriales durante el tostado en microondas se describieron con éxito mediante modelos cuadráticos desarrollados y utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM). La RSM determinó la región óptima de las condiciones de tueste en la que los gráficos de contorno superpuestos arrojaron los poderes de tueste por microondas y los tiempos de tueste óptimos correspondientes al tueste oscuro. Esta investigación nos permitió plantear el diseño experimental.

González & Stewart (2020) en su investigación “*Actividad de agua en alimentos*” establece que la actividad de agua (a_w) influye en la alterabilidad de los alimentos. En el caso de la ñuña con una a_w baja tienden a ser crujientes y quebradizos; si su a_w aumenta, la textura cambia, produciéndose el reblandecimiento del producto. Esta investigación permitió fundamentar la variable dependiente (a_w).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.):

La ñuña se cultiva en el Perú en los departamentos de Cajamarca, Cuzco, Ancash, Huánuco, Apurímac, La Libertad y Ayacucho. Se desarrolla entre temperaturas de 10 y 30 °C, siendo lo óptimo a 20 °C. No es resistente a sequías o heladas, y su rendimiento puede afectarse en todo su periodo vegetativo de ocho meses (Santa Cruz & Vásquez, 2023b).

Clasificación taxonómica para *Phaseolus vulgaris* (Simpson, 2019):

Reino	:	Plantae
Sub reino	:	Tracheobionta
Súper división	:	Spermatophyta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Sub clase	:	Rosidae
Orden	:	Fabales
Familia	:	Leguminosae (Fabaceae)
Sub familia	:	Faboideae (Papilionoideae)
Género	:	Phaseolus
Especie:	:	Phaseolus vulgaris L

Nombre común: Ñuña, poroto, frijol reventón, numia, pushpu, puspo.

Descripción:

La ñuña es una planta herbácea anual, puede alcanzar una altura de 4 metros, presenta un hábito de crecimiento tipo IV indeterminado trepador. Posee un sistema radicular superficial que forma nódulos simbióticos con bacterias, principalmente del género *Rhizobium*. El tallo herbáceo pubescente está formado por una sucesión de nudos y entrenudos, y se vuelve semileñoso hacia la cosecha, en las axilas aparece un complejo de yemas que luego se diferencian en ramas laterales o inflorescencias. Presenta hojas de tipo simple y compuesta. Las flores son hermafroditas y autofecundables, se desarrollan en una inflorescencia de racimo. El fruto es el ovario desarrollado en forma de vaina con dos suturas que unen las dos valvas. Las vainas son generalmente glabras o subglabras con pelos muy pequeños. La semilla puede tener una amplia variación en color, se encuentra rodeada por una testa o cubierta protectora exterior que corresponde a la capa secundina del óvulo y recibe el nombre de epispermo. El lugar donde el óvulo estuvo

unido al funículo generalmente permanece en la semilla como una pequeña cicatriz llamada hilio o hilium (ONU, 2018).

Valor nutritivo

La ñuña por su alto valor proteínico (22 %), ha sido incluida en innumerables pruebas de degustación con el objeto de fomentar su consumo a nivel rural y urbano.

Tabla 1

Contenido de aminoácidos por 100 g de porción comestible

Componente	Promedio
Humedad	11 %
Proteínas	22.1 mg
Lisina	1593 mg
Metionina	234 mg
Cisteína	188 mg
Triptófano	223 mg
Total, aminoácidos esenciales	8457 mg
Total, aminoácidos	20043 mg

Nota. Tomado de INIA (2009).

2.2.2. Tostado:

Se considera tostado al proceso térmico que se les da a determinados alimentos ya que contribuye con un mejor aroma, realza el sabor, y les da una textura crujiente a los productos, estos elementos (factores) son importantes a la hora de elegir un alimento (Jia et al., 2023). Realizar el tostado tiene tres propósitos: reducir la humedad de los granos de 7 - 8 a 2.5 %; eliminar compuestos volátiles no deseados (por ejemplo, ácido acético) y generar compuestos volátiles (aroma de origen térmico) (Pacheco-Coello et al., 2020).

Byarugaba et al., (2023), el tostado de frijoles secos presenta la posibilidad de obtener una mejor calidad nutricional y uso potencial en diferentes productos alimentarios. Un aumento en la temperatura y el tiempo de tostado reduce el contenido de humedad y carbohidratos, pero aumentó el contenido de grasa, fibra y cenizas. El aumento de la temperatura y el tiempo de tostado afectaron las propiedades funcionales de harinas. Para aumentar la vida útil y la densidad de nutrientes de la harina de frijoles, los frijoles deben tostarse a 200 °C.

Las principales reacciones químicas que se desarrollan durante el proceso de tostado son: las reacciones de Maillard, caramelización de azúcares, degradación de proteínas y la síntesis de compuestos azufrados (reacciones menores). Las reacciones de Maillard dan lugar a pigmentos marrones y compuestos de pirazina asociados con la generación de los sabores característicos en productos tostados. Por otro lado, el secado influye en las características texturales crujientes típicas de un producto tostado. Además, las reacciones de Maillard durante el tostado son las responsables de la formación de aromas propios de los alimentos tostados como los granos, cereales y semillas (Magro Porras, 2015).

El tostado se utiliza para mejorar y alterar la calidad de los alimentos, extender su vida útil y mejorar la eficiencia del procesamiento del tratamiento posterior. Estos efectos beneficiosos del tueste se ven influidos decisivamente por las condiciones del tueste. Las condiciones más importantes del proceso de tostado son la temperatura y el tiempo. Las temperaturas y tiempos de tostado óptimos requeridos dependen de varios factores, como el grado de tostado requerido, el tipo de tostador y el tipo, variedad, madurez y contenido de humedad de la materia prima (Youn & Chung, 2012).

Técnicas de tostado. Según IICA como se citó en Caruajulca (2019) hay dos técnicas de tostado, que se diferencian principalmente en el contacto directamente

o no de los granos con la fuente de calor, se describen a continuación:

- **Técnica de tostado directo.** En esta técnica el alimento a tostar es colocado directamente sobre una corriente caliente o llama.
- **Técnica de tostado indirecto.** Esta técnica consiste en colocar los granos dentro de un cilindro que protege a los granos a no estar en contacto directo con la fuente de calor.

Métodos de tostado. Para Aldave Palacios, (2016) el proceso de tostado presenta diferentes métodos entre ellos está:

- **Tostado en seco.** Consiste en tostar alimentos sin añadir ningún tipo de grasa, generalmente consiste en colocar el alimento directamente en una superficie caliente, como una sartén o una plancha.
- **Tostado al horno.** Para llevar a cabo este método es necesario usar un horno, básicamente consiste en colocar los granos en una bandeja y exponerlo al calor del horno, con o sin la adición de algún tipo de grasa.
- **Tostado por infrarrojos.** Este método consiste en exponer al alimento a la radiación infrarroja que calienta rápidamente la superficie de los alimentos, produciendo un tostado más rápido y uniforme.
- **Tostado por convección.** Este método utiliza la circulación del aire caliente para tostar los alimentos de manera uniforme, el aire caliente se mueve alrededor de los alimentos, transfiriendo calor y cocinándolos de manera eficiente.

Tiempo de tostado. Es el periodo de tiempo que un alimento es sometido al calor con el objetivo de mejorar sus características sensoriales, esta variable es importante en el proceso de tostado, debido a que influye en la formación del color y aroma, este periodo de tiempo está sujeto al contenido de humedad con la que entra el grano al tostador, este parámetro se puede determinar mediante la construcción de una curva de tiempo de tostado, la cual indica el tiempo que se debe tostar con relación a la humedad inicial de los granos a una temperatura

determinada, otros factores que determinan el tiempo de tostado es el tamaño del grano, la tostadora y la costumbre del mercado consumidor, resulta importante controlar este factor ya que un tiempo de tostado más prolongado puede provocar variaciones en la textura, sabor y aroma (Aldave Palacios, 2016).

2.2.3. Velocidad rotacional en el tostado:

Las revoluciones por minuto (RPM) es una medida de la velocidad angular de rotación de un objeto en el sistema internacional. En términos físicos, las RPM se define como el número de vueltas completas que realiza un objeto en un minuto. Se utiliza comúnmente para describir la velocidad de rotación de diferentes dispositivos, desde motores hasta herramientas y equipos industriales. En términos más profundos, las RPM es una medida angular que cuantifica la rapidez con la que un objeto gira alrededor de un eje central. Esta velocidad angular puede influir en diversas propiedades físicas y dinámicas del objeto, como la fuerza centrífuga, el torque y la energía cinética rotacional (Young et al., 2016). En la fórmula 1 se representa la definición física.

$$RPM = \frac{\text{Numero de vueltas}}{\text{tiempo en minutos}} \dots\dots\dots(1)$$

Illy & Rinantonio, (2005) mencionan que, en el tostado, las revoluciones por minuto (RPM) se refieren a la velocidad de rotación del tambor tostador, que es el componente central en las máquinas de tostado. La velocidad a la que el tambor gira durante el proceso de tostado es un factor crítico que afecta la calidad y el perfil de sabor en los granos (café, cacao, ñuña, etc.). La velocidad del tambor, medida en RPM, influye en la distribución del calor durante el tostado. Un aumento en las RPM puede acelerar la transferencia de calor a la ñuña y afectar la uniformidad del tostado. Además, la velocidad de rotación del tambor puede influir en la duración del proceso de tostado y, por ende, en el desarrollo de los compuestos aromáticos y sabores característicos del alimento.

2.2.4. Actividad de agua:

Se define formalmente como la presión parcial de vapor de agua en equilibrio con el alimento dividido por la presión parcial de vapor de agua en condiciones estándar, presión de vapor parcial del agua pura a la misma temperatura (Badui, 2012).

El término se implantó para tener en cuenta la intensidad con que el agua se asocia a los diferentes componentes no acuosos. Este parámetro relaciona el contenido de agua de un alimento, concretamente el agua disponible o no ligada al soluto (composición) (Fennema, 1993).

Es fundamental en la vida útil de los alimentos, ya que determina el agua disponible para el crecimiento de microorganismos y la actividad química y enzimática durante la conservación de estos, que van a afectar a su calidad. Esto es debido a que los microorganismos necesitan cierta cantidad de agua libre para vivir, y las reacciones se dan en medio acuoso. Toma valores entre 0 y 1, y cuanto más se aleja de 1 (valor para el agua pura), más difícil es la actividad biológica, y por lo tanto la conservación es más fácil y la vida útil más larga es decir tiene un impacto tanto en la seguridad del alimento como en su calidad, ya que la actividad biológica va a influir en su textura, sabor, color, gusto y valor nutricional, además de en el tiempo de conservación (Cardona, 2019).

La actividad del agua será expresada como:

$$a_w = P_w / P_w^0 = \text{HRE} / 100$$

Donde P_w es la presión parcial de vapor de la fase condensada: Solución acuosa o alimento, P_w^0 es la presión de vapor parcial del agua pura a la misma temperatura, y HRE es la humedad relativa del aire en equilibrio con la solución o alimento. Por lo tanto, la presión de vapor del agua en equilibrio con la solución o alimento puede ser medida o relacionada con la HRE del medio ambiente que le rodea. La a_w es una variable adimensional que solo está definida para un

sistema en equilibrio y su valor es aplicable únicamente en condiciones específicas de temperatura y presión. Los alimentos son sistemas multicomponentes, constituidos por dos o más fases (sólida, líquida, acuosa, y aceite), no presentan equilibrio entre una fase y la otra (Soledad, 2020).

2.3. Definición de términos

- **Ñuña:** Es una planta herbácea anual, puede alcanzar una altura de 4 metros, presenta un hábito de crecimiento tipo IV indeterminado trepador (ONU, 2018).
- **Tiempo de tostado:** Se refiere al periodo necesario para someter los granos de ñuña variedad negra al proceso de tostado, que son expuestas al calor con el propósito de desarrollar cambios físicos y químicos que afectan su sabor, aroma, textura, color, incluyendo en la capacidad de reventado, además mejoran la digestibilidad; el tiempo de tostado puede variar dependiendo de varios factores, como la temperatura del tostador la cantidad de granos y la preferencia del usuario en cuanto al grado de tostado deseado (Aldave Palacios, 2016)
- **Velocidad rotacional:** En el contexto del tostado, se refieren a la velocidad de rotación del tambor tostador, que es el componente central en la máquina de tostado se expresa en Revoluciones Por Minuto (RPM); siendo un factor crítico que afecta la calidad y el perfil de sabor del producto final (Illy y Rinantonio, 2005).
- **Capacidad de reventado:** Es la capacidad de expansión y reventado de los cotiledones del frijol ñuña al ser sometidos al calor, lo que da lugar a un producto crujiente que puede ser consumido como snack (Otálora et al., 2006a)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industria Alimentarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, que está ubicada en el departamento, provincia y distrito de Cajamarca, se encuentra a una altitud de 2750 m.s.n.m., 78° 29' 44" de longitud oeste y 7° 10' 01" latitud sur con clima templado, seco y su temperatura media anual es de 15.6 °C (Figura 1).

Figura 1
Mapa de ubicación



3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materia prima e insumos

- Ñuña variedad negra.

3.2.2. Materiales de elaboración

- Bolsas de LDPE de 30 cm de ancho.
- Cucharas de metal.
- Recipientes de aluminio de 5 L de capacidad.

3.2.3. Materiales de análisis

- Desecador provisto con Gel de Sílice 3 – 6 mm con indicador QP.
- Lunas de reloj.
- Matraces Erlenmeyer de 200; 500 mL.
- Papel de filtro Albet 242 mm de diámetro.
- Pinzas metálicas.
- Varilla fina de vidrio.
- Placas Petri

3.2.4. Equipos de laboratorio

- Balanza analítica. Marca Precisa, modelo LX 220 SCS
- Tostador de granos con control de velocidad rotacional.
- Agitador magnético.
- Estufa eléctrica, LMIM, regulada a 105°C.
- Medidor de actividad de agua AQUALAB (4 TE Dew Point Water Activity Meter SERIE S40005228)

3.2.5. Reactivos

- Agua destilada.
- Alcohol de 70°

3.3. Metodologías Experimental de la Investigación

3.3.1. Variables:

Para la determinación de factores en variables independientes se ha considerado la experiencia y valores citados en antecedentes.

a. Variables Independientes

- Tiempo de tostado: 3, 3.5, 5, 6.5, 7 min.
- Revoluciones por minuto en el tostado: 42, 57.5, 95, 132.5, 148 RPM

b. Variables Dependientes

- Capacidad de reventado.

3.3.2. Niveles

Tiempo de tostado en minutos:

$$-a = 3$$

$$-1 = 3.5$$

$$0 = 5$$

$$+1 = 6.5$$

$$+a = 7$$

Velocidad rotacional en RPM:

$$-a = 42$$

$$-1 = 57.5$$

$$0 = 95$$

$$+1 = 132.5$$

$$+a = 148$$

3.3.3. Tratamientos de estudio

▪ Unidad de análisis

Ñuña tostada a diferentes tiempos y velocidad de rotación.

▪ **Muestra:**

Se utilizó 1Kg de ñuña variedad negra por cada tratamiento, cada muestra se realizó por triplicado.

De la combinación de los diferentes niveles de cada factor se dieron como resultado los siguientes tratamientos:

Tabla 2

Tratamientos en estudio

Tratamientos	Valores codificados	
	X1	X2
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-a	0
6	a	0
7	0	-a
8	0	a
9	0	0
10	0	0
11	0	0

X1: Tiempo de tostado (Mín.), X2: Velocidad Rotacional (RMP)

3.3.4. Diseño estadístico

Se utilizó el diseño compuesto central rotacional (DCCR) 2^2 . Este diseño nos proporciona un total de 11 pruebas de las cuales 4 son factoriales, 3 puntos centrales y 4 axiales.

Tabla 3

Variables independientes del diseño compuesto central rotacional (DCCR) 2^2

Cód.	Variables independientes	Niveles				
		-a	-1	0	+1	+a
X1	Tiempo de tostado (Mín.)	3	3.5	5	6.5	7
X2	Velocidad Rotacional (RMP)	42	57.5	95	132.5	148

Obtenidos usando $\pm |a| = 1.4142$

Tabla 4

Valores codificados y valores reales del diseño compuesto central rotacional (DCCR) 2².

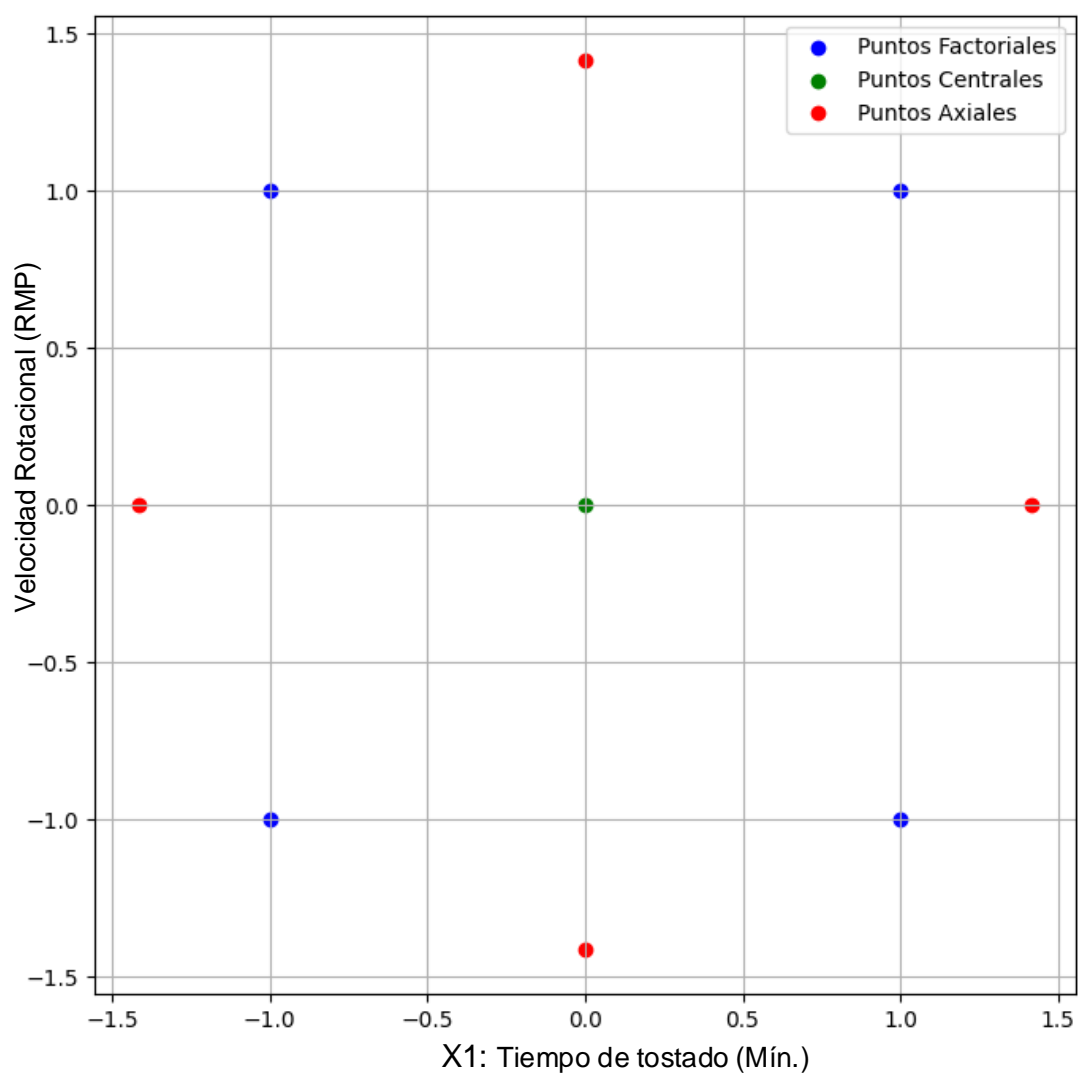
Tratamientos	Valores codificados		Valores reales	
	X1	X2	Tiempo de tostado (Mín.)	Velocidad Rotacional (RPM)
1	-1	-1	3.5	57.5
2	1	-1	6.5	57.5
3	-1	1	3.5	132.5
4	1	1	6.5	132.5
5	-α	0	3.0	95.0
6	α	0	7.0	95.0
7	0	-α	5.0	42.0
8	0	α	5.0	148.0
9	0	0	5.0	95.0
10	0	0	5.0	95.0
11	0	0	5.0	95.0

± |α| = 1.4142; X1, X2 = Variables independientes: Tiempo de tostado (Mín.). Velocidad Rotacional (RPM)

3.3.4.1. Diagrama del diseño experimental

Figura 2

Diagrama del diseño experimental



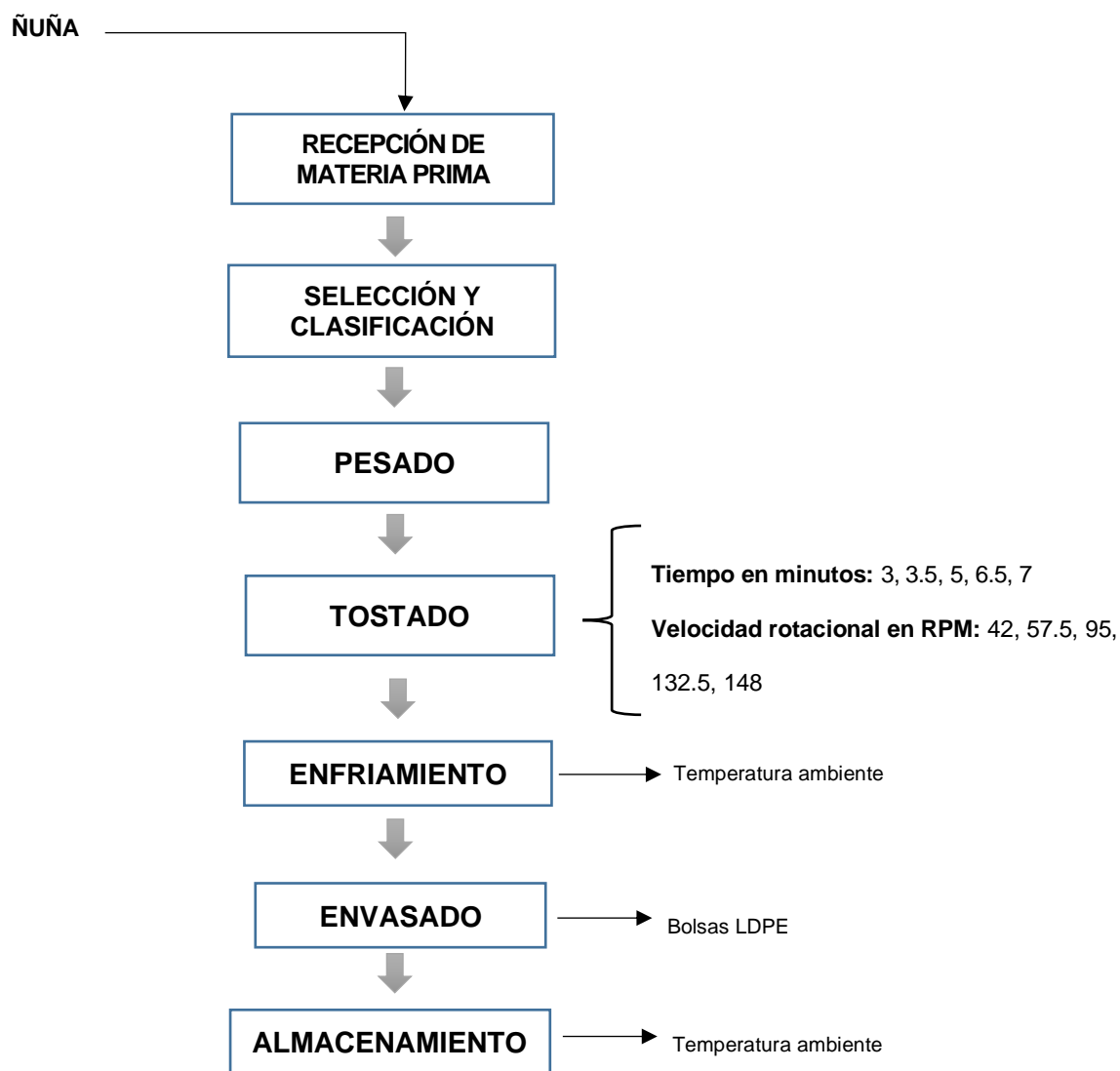
Nota. El gráfico muestra el esquema del Diseño Compuesto Central Rotable de la investigación.

3.3.5. Procedimientos (descripción de los procesos experimentales)

3.3.5.1. Flujograma

Figura 3

Flujograma del proceso de elaboración



3.3.5.2. Descripción del proceso de elaboración

- **Recepción de materia prima:** La ñuña variedad negra se almacenó en un lugar seco y a temperatura ambiente hasta el momento de la elaboración del producto.

Figura 4

Recepción de la ñuña variedad negra



Nota. La imagen muestra recepción de la ñuña.

- **Selección y clasificación:** Se seleccionó las semillas de ñuñas variedad negra libres de materia extraña y daños biológicos, las semillas presentaron buena apariencia y sin daños físicos.

Figura 5

Selección y clasificación de la ñuña variedad negra



Nota. La imagen muestra la selección y clasificación de la ñuña negra.

- **Pesado:** Se realizó en una balanza digital, la cantidad que se utilizó es de 1 kilogramo por tratamiento.

Figura 6.

Pesado de las muestras de ñuña variedad negra



Nota. La imagen muestra el pesado de las muestras.

- **Tostado:** Esta etapa consistió en exponer a las semillas al calor seco generado por el tostador rotacional que permite la distribución del calor de manera uniforme, se realizó a una temperatura constante de 125 ° C a diferentes Tiempos de 3, 3.5, 5, 6.5 y 7 minutos a una velocidad rotacional en RPM de 42, 57.5, 95, 132.5, 148.

Figura 7.

Tostado de las muestras de ñuña variedad negra



Nota. La imagen muestra el tostador rotacional que permite regular la velocidad rotacional en RPM en el tostado.

- **Enfriamiento:** Después del proceso de tostado, las semillas se dejaron enfriar a temperatura ambiente antes de ser envasados.
- **Envasado:** Las muestras, se envasaron en bolsas de LDPE.

Figura 8

Envasado de la ñuña variedad negra



Nota. La imagen muestra la ñuña tostada envasada.

- **Almacenamiento:** El producto final correctamente envasado se mantuvo a temperatura ambiente para proceder a realizar los análisis correspondientes.

3.3.5.3. Análisis de capacidad de reventado.

Para determinar el porcentaje de capacidad de reventado de la ñuña, se adaptado la metodología de Otálora et al., (2006), como sigue:

- a. **Selección de la muestra:** Se tomó una muestra representativa según tratamientos.

Figura 9.

Conteo de la ñuna variedad negra



Nota. La imagen representa el conteo de las unidades de ñuña por muestra.

- b. Proceso de tostado:** Se realizó el tostado de acuerdo a tratamientos planteados.
- c. Conteo:** Una vez que las ñuñas han sido tostadas, se procedió a contar el número total de ñuñas que han reventado exitosamente.

Figura 10.

Ñuna tostada



Nota. La imagen muestra la ñuña variedad negra, tostada para realizar conteo por muestra en unidades después del tostado.

- d. Cálculo del porcentaje de capacidad de reventado:** Se realizó uso los datos del total de ñuñas ingresadas al tostado y el Nro. Ñuñas reventadas después, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Capacidad de Reventado} = \left(\frac{\text{Nro. de ñuñas reventadas}}{\text{Nro. total de ñuñas}} \right) \times 100$$

e. Determinación de actividad de agua

Se utilizó un higrómetro AquaLab, que es un equipo especializado para medir la actividad de agua (a_w), se basa en el principio de equilibrio de presión de vapor, según el procedimiento adaptado de Cardona (2019):

1) Preparación del equipo:

- Se encendió el equipo AquaLab modelo 4TEV DUO por un periodo de 15 minutos hasta que se estabilice.
- Se realizó la calibración del equipo con estándares de verificación (soluciones de NaCl o LiCl), para garantizar la precisión de los resultados.

2) Preparación de la muestra:

- Los diferentes tratamientos pasaron la etapa de preparación de la muestra, realizándose la molienda en el molinillo de café Oster modelo BVSTBMH23 053.
- Las muestras se colocaron en recipientes limpios y secos herméticamente cerrados.
- La muestra homogénea se colocó uniformemente en la cápsula.

3) Colocación de la muestra:

- Se abre la cámara del AquaLab y se coloca el recipiente con la muestra en su interior.

- Se cierra la cámara herméticamente para evitar la entrada de aire externo.

4) Medición:

- El AquaLab mide la actividad de agua utilizando un sensor de punto de rocío. Este sensor enfría un espejo dentro de la cámara hasta que se forma rocío.
- El equipo detecta la temperatura en la que se forma el rocío y calcula la actividad de agua (a_w) con base en esta medición.
- Una vez que el equipo emite un aviso sonoro, se registró el valor de a_w y la temperatura de la muestra que aparecen en la pantalla.
- Se retira la muestra y limpia el equipo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

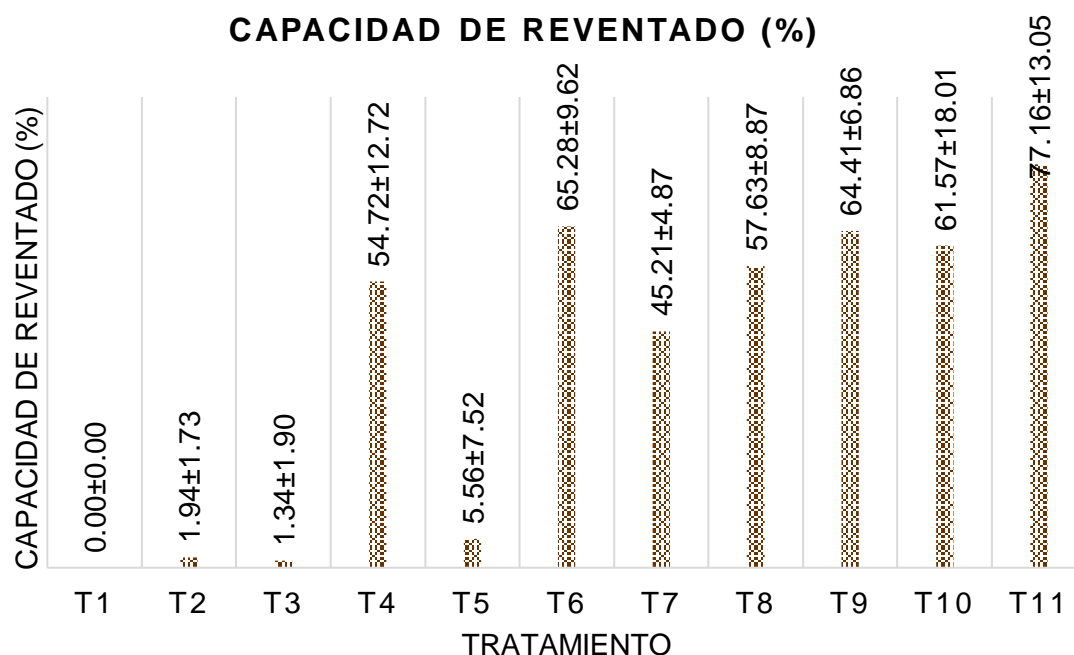
4.1 Análisis de la capacidad de reventado

La capacidad de reventado de la ñuña variedad negra, esta influenciado por su composición, como: El almidón que por su elevado contenido (60 % aproximadamente) favorece la expansión del grano al ser calentado rápidamente, permitiendo que los cotiledones aumenten su volumen entre un 30 % y 50 %, las proteínas (20 %) puede influir en la textura y resistencia del grano durante el proceso de reventado; los taninos afectan negativamente la capacidad de reventado, ya que estos compuestos pueden formar complejos con proteínas y almidón, alterando las propiedades físicas del grano (Otálora et al., 2006b).

Los resultados muestran que los tratamientos T11 (tiempo de tostado: 5.0 minutos y velocidad rotacional: 95.0 RPM), T6 (tiempo de tostado: 7 minutos y velocidad rotacional: 95.0 RPM) y T3 (tiempo de tostado: 3.5 minutos y velocidad rotacional: 132.5 RPM) permiten obtener un mayor porcentaje de reventado (Figura 11) esto se relaciona con el contenido del agua.

Figura 11

Capacidad de reventado (%)



Nota. Se observa la capacidad de reventado de ñuña variedad negra en los diferentes tratamientos.

En el análisis ANOVA para la capacidad de reventado se consigna la Tabla 5, donde se puede observar que el tiempo de tostado es el factor de mayor incidencia seguido de como la interacción entre ambos factores (tiempo de tostado y velocidad rotacional); donde P es el valor menor del 5 % lo que indica que es significativo que influye en la capacidad de reventado.

Tabla 5*Análisis de Varianza para Capacidad de Reventado*

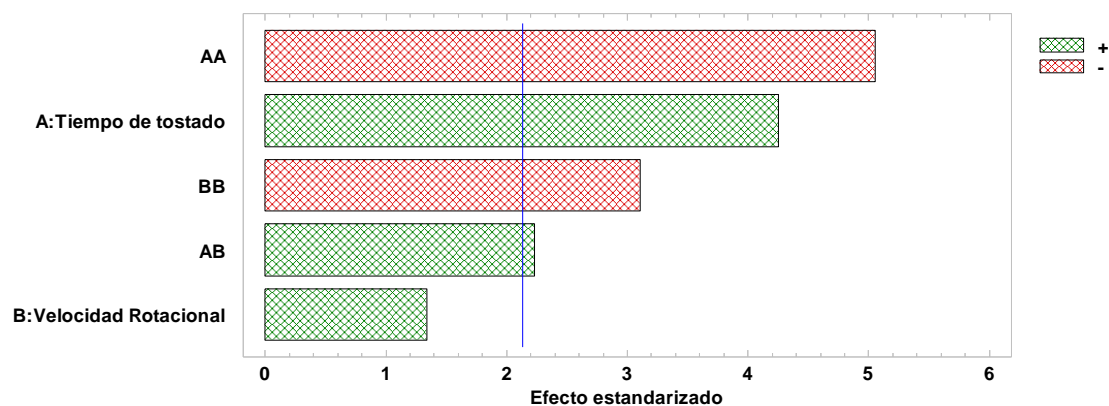
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo de tostado	4829.72	1	4829.72	18.11	0.0007
B: Velocidad Rotacional	478.791	1	478.791	1.80	0.2002
AA	6808.92	1	6808.92	25.53	0.0001
AB	1323.04	1	1323.04	4.96	0.0417
BB	2576.34	1	2576.34	9.66	0.0072
Bloques	551.801	1	551.801	2.07	0.1708
Error total	4000.14	15	266.676		
Total (corr.)	19687.5	21			

Nota. $R^2 = 79.6818\%$, R^2 (ajustada por g.l.) = 71.5546% . Error estándar del est. = 16.3302 .
Error absoluto medio = 11.5072 . Estadístico Durbin-Watson = 0.987401 ($P=0.0034$).
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.478228

Asimismo, al graficar los efectos estandarizados mostrados en la Figura 12, observamos que hay significancia para el tiempo de tostado (Min.) y la interacción entre variables. La Figura 13 muestra los efectos individuales y como resultado se observa, un impacto positivo para el tiempo de tostado (Min.) y la interacción entre éste y la velocidad rotacional (RPM), esto se explica por el alto contenido de almidón (60 %) que favorece la expansión permitiendo que los cotiledones aumenten su volumen (30 % - 50 %, alto contenido de proteínas (20 %) que influye en la textura y resistencia del grano de ñuña durante el proceso de reventado (Otálora et al., 2006b). Siendo otros factores importantes la temperatura de tostado, la actividad de agua y velocidad de rotación de la tostadora permitiendo que los granos se expandan correctamente sin quemarse ni quedar crudos (Melo & Ligarreto, 2010).

Figura 12

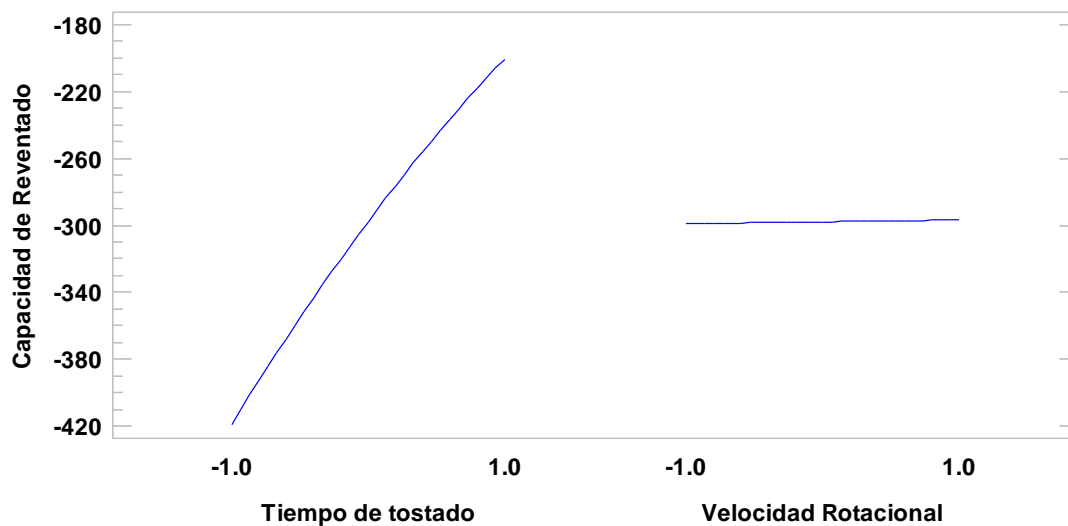
Pareto estandarizado para la capacidad de reventado



Nota. La gráfica muestra el comportamiento de las variables: tiempo de tostado (Min.) y velocidad rotacional (RPM) sobre la capacidad de reventado.

Figura 13

Efectos principales para la capacidad de reventado.



Nota. La gráfica muestra efectos individuales del tiempo de tostado (Min.) y velocidad rotacional (RPM) sobre la capacidad de reventado en ñuña.

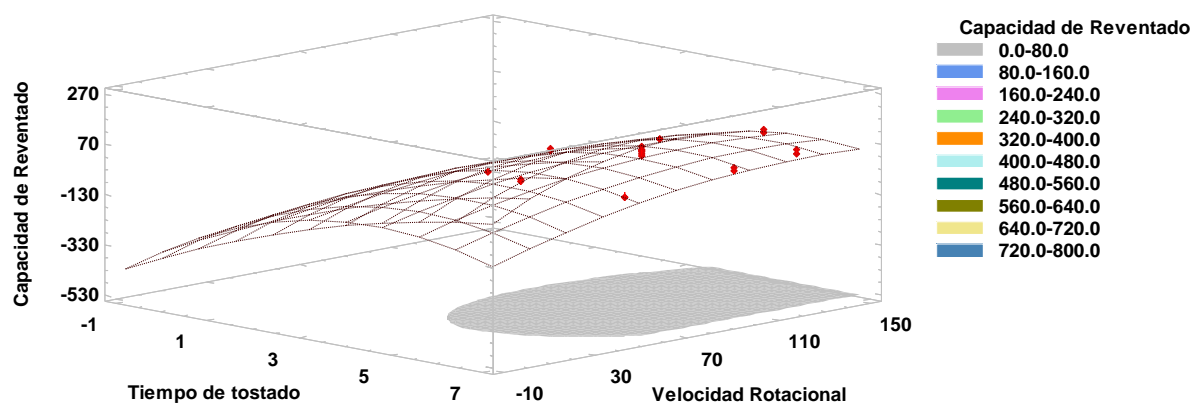
En la Figura 14, se muestra el cálculo de la superficie de respuesta estimada de la capacidad de reventado en ñuña variedad negra, pudiendo maximizarse hasta

75.0299 % con valores de 5.67964 Min. de tostado y 113.502 RPM de velocidad rotacional, la ecuación del modelo es:

$$\text{Capacidad de Reventado} = -297.881 + 108.916 \cdot \text{Tiempo de tostado} + 1.12076 \cdot \text{Velocidad Rotacional} - 11.8727 \cdot \text{Tiempo de tostado}^2 + 0.228622 \cdot \text{Tiempo de tostado} \cdot \text{Velocidad Rotacional} - 0.010657 \cdot \text{Velocidad Rotacional}^2$$

Figura 14

Superficie de respuesta estimada para la capacidad de reventado



Nota. La gráfica muestra la superficie de respuesta estimada para la capacidad de reventado en ñuña variedad negra evaluando el tiempo de tostado y velocidad rotacional.

La capacidad de reventado de la ñuña variedad negra está directamente influenciada por las condiciones térmicas del proceso de tostado, especialmente el tiempo y la velocidad rotacional, como lo demuestra el modelo cuadrático presentado en la Figura 14. Este modelo predice una capacidad máxima de reventado del 75.0299% bajo condiciones óptimas de 5.67964 minutos y 113.502 RPM, lo que sugiere una interacción significativa entre ambos factores.

La influencia del tiempo de tostado, es decir la exposición al calor afecta la desnaturalización de proteínas, la gelatinización parcial del almidón y la ruptura de estructuras celulares, lo que facilita el reventado. Según Espitia et al. (2023), el tiempo

de tostado modula la expansión volumétrica en granos, siendo clave para lograr una textura crujiente sin carbonización y un máximo reviente. Esto se alinea con los resultados obtenidos, donde tiempos cercanos a 5.7 minutos optimizan la capacidad de reventado sin comprometer la integridad de los granos.

La velocidad rotacional incide en la uniformidad térmica y en la distribución del calor por convección forzada. Aguilar et al. (2022), señalan que velocidades superiores a 100 RPM mejoran la eficiencia del tostado en granos pequeños al reducir puntos fríos y evitar sobrecalentamiento localizado. En este estudio, la velocidad óptima de 113.502 RPM confirma esta tendencia, maximizando la expansión sin generar fracturas prematuras.

La interacción cuadrática entre tiempo y velocidad rotacional, evidenciada por los coeficientes cruzados del modelo, indica que no basta con optimizar un solo parámetro, en procesos de tostado de granos, la sinergia entre tiempo y velocidad rotacional determina la calidad final del producto, especialmente en atributos como crocancia y capacidad de reventado. Por tanto, para el manejo tecnológico del tostado de ñuña es fundamental la calidad que está influenciada por la cubierta seminal el tamaño y textura.

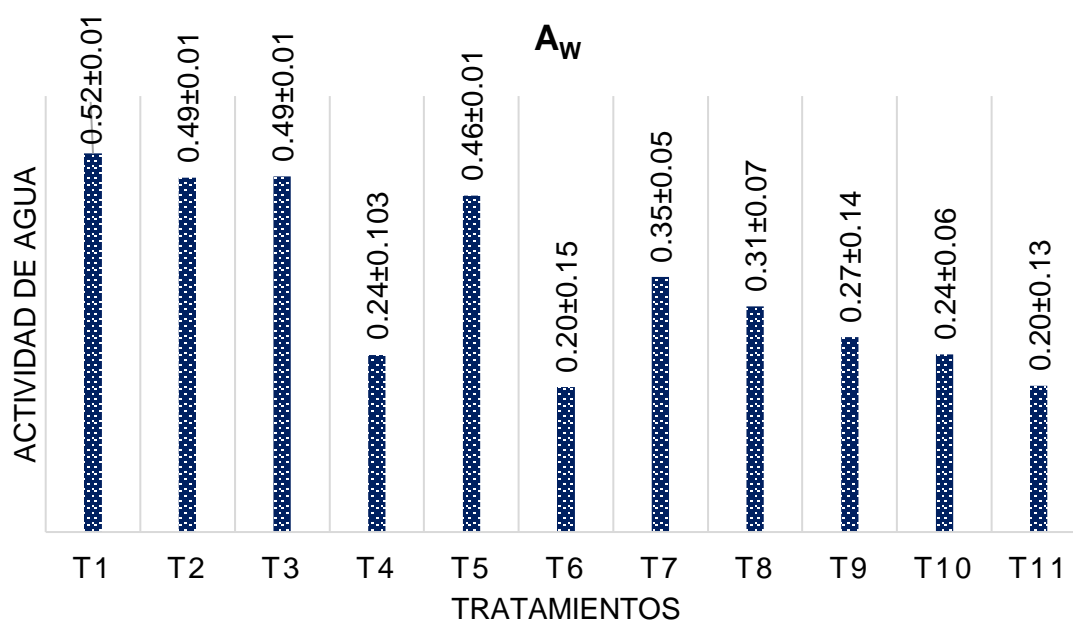
4.2 Análisis de la actividad de agua (a_w)

Los resultados muestran que los tratamientos T1 (tiempo de tostado: 3.5 minutos y velocidad rotacional: 57.5 RPM), T2 (tiempo de tostado: 6.5 minutos y velocidad rotacional: 57.5 RPM) y T3 (tiempo de tostado: 3.5 minutos y velocidad rotacional: 132.5 RPM) permiten obtener una mayor actividad de agua (Figura 15) esto se relaciona con el contenido del agua, una humedad del 14 % es adecuado para permitir el manejo, conservación y almacenamiento de los granos; que en el procesamiento

(tostado) la humedad y tiempo de reventado está relacionado con la composición del pericarpio (hemicelulosa, celulosa y lignina), que cumple la función de impedir la salida de humedad del grano, logrando de esta forma que la presión de vapor se incremente a tal grado que permita el reventado de la ñuña variedad negra.

Figura 15

Actividad de agua (a_w)



Nota. Se observa la a_w de ñuña tostada en los diferentes tratamientos.

En el análisis ANOVA para la actividad de agua se consigna la Tabla 5 donde se puede observar que no existe variabilidad, porque el P valor es mayor del 5 % lo que indica que no es significativo.

Tabla 6*Análisis de Varianza para a_w*

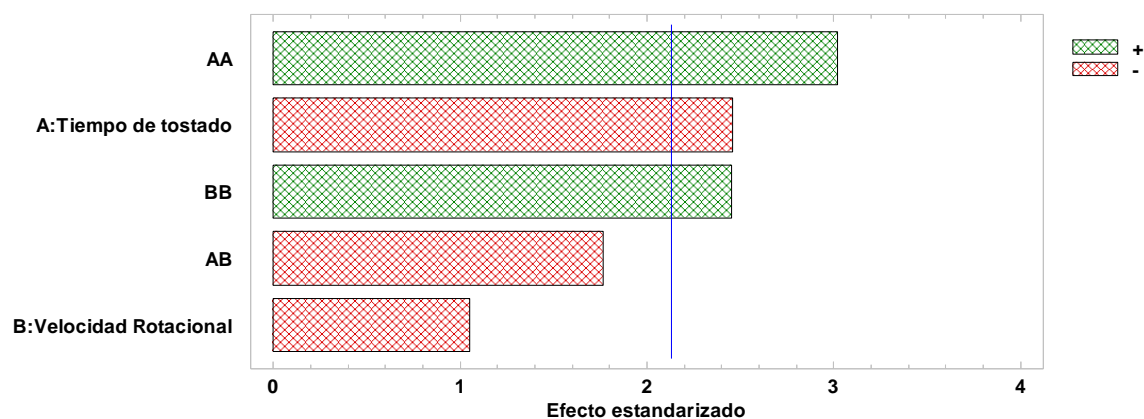
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo de tostado	0.026347	1	0.026347	6.05	0.0265
B: Velocidad Rotacional	0.00483063	1	0.00483063	1.11	0.3089
AA	0.0396638	1	0.0396638	9.11	0.0086
AB	0.0136125	1	0.0136125	3.13	0.0974
BB	0.0262102	1	0.0262102	6.02	0.0269
Bloques	0.0482227	1	0.0482227	11.08	0.0046
Error total	0.0653099	15	0.00435399		
Total (corr.)	0.240695	21			

$R^2 = 72.8662\%$. R^2 (ajustada por g.l.) = 62.0126% . Error estándar del est. = 0.0659848 . Error absoluto medio = 0.0418542 . Estadístico Durbin-Watson = 1.52592 (P=0.0918). Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.156219

Asimismo, al graficar los efectos estandarizados mostrados en la Figura 16, observamos que hay significancia para el tiempo de tostado. La Figura 17 muestra los efectos individuales y como resultado se observa un impacto negativo por la velocidad rotacional y el tiempo de tostado sobre la a_w . En el caso de la ñuña la actividad de agua adecuada es esencial para que los cotiledones se expandan correctamente al ser sometidos al calor; ya que con una la actividad de agua demasiado baja, las ñuñas pueden no expandirse adecuadamente, mientras que una actividad de agua demasiado alta puede afectar negativamente la textura y la calidad del reventado (Otálora et al., 2006c).

Figura 16

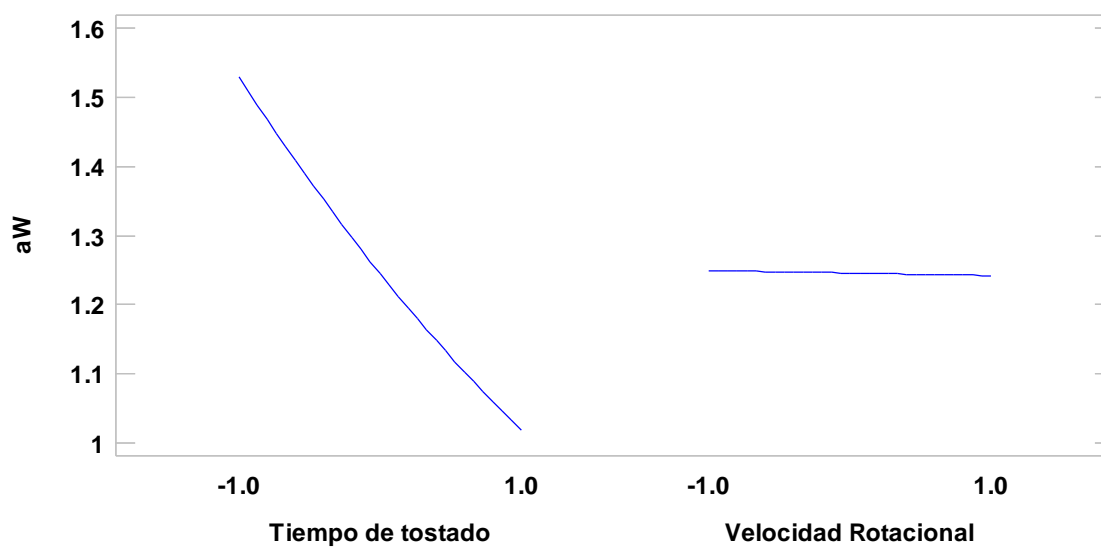
Pareto estandarizado para a_w



Nota. La gráfica muestra el comportamiento de las variables: velocidad rotacional y tiempo de tostado sobre la a_w .

Figura 17

Efectos principales para la a_w



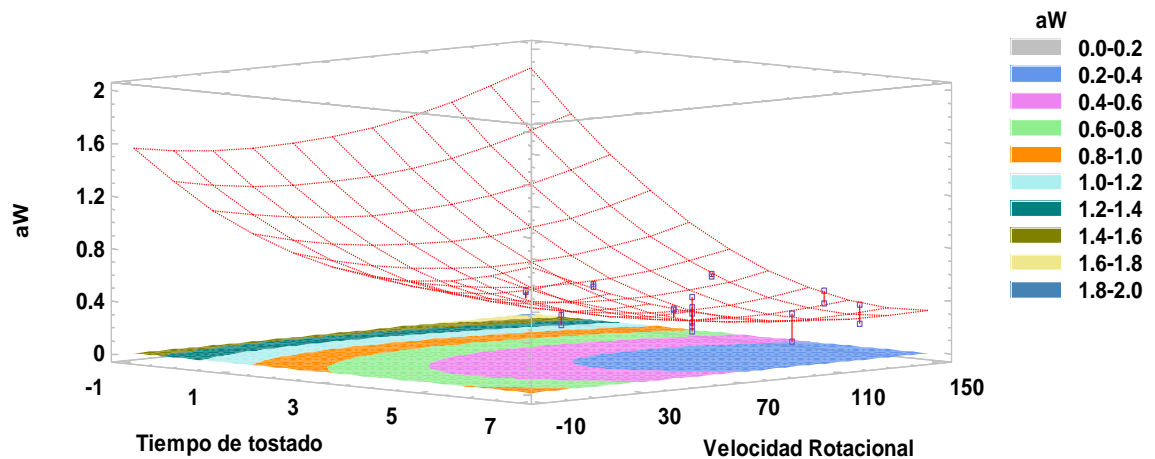
Nota. La gráfica muestra efectos individuales del tiempo de tostado y la velocidad rotacional sobre la a_w en ñuña tostada.

En la Figura 18 se muestra el cálculo de la superficie de respuesta estimada para la a_w , pudiendo minimizarse 0.284957 con valores de 5.9 minutos y 116.3 RPM, la ecuación del modelo es:

$$a_w = 1.24583 - 0.254389 \cdot \text{Tiempo de tostado} - 0.00355994 \cdot \text{Velocidad Rotacional} + 0.0286555 \cdot \text{Tiempo de tostado}^2 - 0.000733333 \cdot \text{Tiempo de tostado} \cdot \text{Velocidad Rotacional} + 0.0000339913 \cdot \text{Velocidad Rotacional}^2$$

Figura 18

Superficie de respuesta estimada para a_w



Nota. La gráfica muestra la superficie de respuesta estimada para a_w del tiempo de tostado y la velocidad rotacional en ñuña.

La superficie de respuesta estimada de la a_w para la ñuña tostada puede minimizarse hasta 0.284957 con valores de 5.9 minutos y 116.3 RPM, siendo importante controlar la humedad (14 - 15.5 %) y actividad de agua para maximizar el volumen de reventado (Lau Luin, 2002).

Soledad Tapia (2020), desde un enfoque tecnológico, la a_w es un parámetro eficiente para explicar la relación del agua con los microorganismos y la estabilidad física de los alimentos, lo que en ñuña se traduce en un producto estable y seguro para el almacenamiento y consumo. La evaluación de humedad y actividad de agua no solo garantiza la conservación, sino que influye en el volumen y peso de la expansión.

4.3 Optimización de múltiples variables

Al realizar la optimización de múltiples variables, se tiene un valor óptimo de Deseabilidad de 0.79 para el tostado de ñuña variedad negra, con factores: 5.8 minutos para el tiempo y 114.7 RPM para la velocidad rotacional (Tabla 7 y Figura 19).

Tabla 7

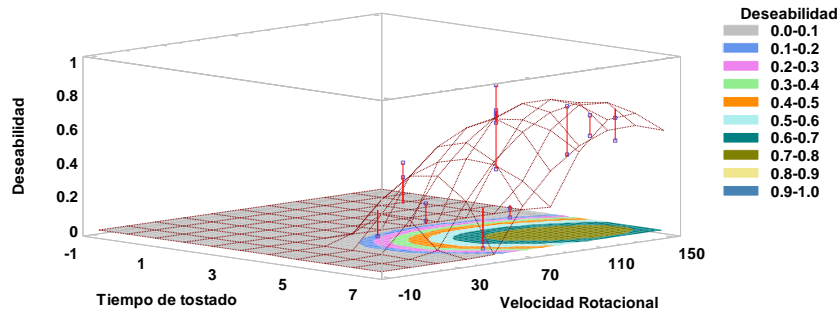
Maximización de factores óptimos de tiempo de tostado y velocidad rotacional en ñuña variada negra

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo de tostado	3.0	7.0	5.78477
Velocidad Rotacional	42.0	148.0	114.696

Nota. Esta tabla muestra la combinación de niveles de factores que maximiza la función de “deseabilidad” (0.797226) en la región indicada.

Figura 19

Superficie de respuesta estimada para deseabilidad



Nota. La figura muestra los factores óptimos de tiempo de tostado (Min.), velocidad rotacional (RPM), respecto a la capacidad de reventado (%) y a_w en ñuña variedad negra tostada.

La capacidad reventada en el tostado mejora la textura y el sabor de la ñuña haciéndolo más crujiente y agradable al paladar (AGROPERU, 2024). Esto es importante para la aceptación del producto por parte de los consumidores.

La capacidad de reventado está influenciada por el contenido de humedad (14 - 15.5 %), la actividad de agua (Lau Luin, 2002) y el método de tostado, para la investigación se usó un tostador giratorio que permitió asegurar una distribución uniforme del calor en todos los granos, lo cual fue crucial para un reventado homogéneo, evitando que algunos granos de ñuña se quemen mientras otros quedan sin expandirse adecuadamente.

Otros factores fueron el tiempo de tostado, la velocidad rotacional, la temperatura, sus características composicionales especialmente el contenido de almidón lo que favorece la expansión permitiendo que los cotiledones aumenten su volumen (Otálora et al., 2006b).

V. CONCLUSIÓN

- El tiempo de 5.7 minutos y 113.5 RPM de velocidad rotacional para el tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) maximizan la capacidad de reventado hasta un 75.03 %.
- El tiempo de 5.9 minutos y 116.3 RPM de velocidad rotacional para el tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) minimizan la a_w en 0.28.
- El tiempo de 5.8 minutos y 114.7 RPM de velocidad rotacional son los óptimos para el tostado de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.).

VI. RECOMENDACIONES

- Profundizar en el estudio de isothermas de adsorción y desorción para la variedad de ñuña, empleando los parámetros óptimos identificados (5.7 minutos de tostado y 113.5 RPM de velocidad rotacional), para comprender el comportamiento higroscópico del grano tostado, optimizar condiciones de almacenamiento y predecir su estabilidad físico-química.
- Realizar un análisis instrumental de textura bajo los mismos parámetros óptimos (5.7 minutos y 113.5 RPM), utilizando técnicas como penetración, compresión y dureza por perfil de textura (TPA) para correlacionar objetivamente la capacidad de reventado con atributos sensoriales clave como crocancia, capacidad de reventado y aceptabilidad del producto final.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROPERU. (2024, May 19). *Nuña o frijol reventón, alimento funcional*.
<https://www.agroperu.pe/nuna-o-frijol-reventon-alimento-funcional/>
- Aguilar, M. J., Espitia, E., Lozano, A., Valverde, M. G., Sesma, L. F., & López, Y. G. (2022). Capacidad de reventado de grano de amaranto (*Amaranthus* spp.) Con perispermo contrastante. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(4), 429–436.
<https://doi.org/10.35196/RFM.2022.4.429>
- Aldave Palacios, G. J. (2016). Efectos de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao procedente de Uchiza, San Martin. *Tesis de Maestría. Universidad Nacional de San Marcos. Perú*, 115.
- Badui, S. (2012). *Química de los alimentos*.
<https://agroengineer.blogspot.com/2020/12/quimica-de-alimentos-tomo-ii.html>
- Bolek, S., & Ozdemir, M. (2017). Optimization of roasting conditions of microwave roasted *Pistacia terebinthus* beans. *LWT*, 86, 327–336.
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.08.017>
- Byarugaba, R., Nabubuya, A., Muyonga, J., & Mwakha, A. (2023a). Effects of Roasting Conditions on the Proximate Composition and Functional Properties of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Flours. *Tanzania Journal of Science*, 49(2), 546–558.
<https://doi.org/10.4314/tjs.v49i2.23>
- Cardona, F. (2019). *Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones*. Apellidos, nombre.
- Castro-Campos, F. G., Cabrera-Ramírez, A. H., Morales-Sánchez, E., Rodríguez-García, M. E., Villamiel, M., Ramos-López, M., & Gaytán-Martínez, M. (2021). Impact of the popping process on the structural and thermal properties of sorghum grains (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Food Chemistry*, 348, 129092.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129092>

- Espitia, E., Lozano, A., Aguilar, M. J., Valverde, M. G., González, L., & Martínez, E. (2023). Evaluación de la capacidad de reventado de genotipos de amaranto y parámetros genéticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6). <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V14I6.3429>
- Fennema, O. R. (1993). *Química de los alimentos* (2nd ed.). Acribia.
- González, W., & Stewart, A. (2020). Actividad de agua en alimentos. *Revista Aqualab*.
- Illy, A., & Rinantonio, V. (2005). *Espresso Coffee: The Science of Quality* (2da edición). Elsevier Science.
- INIA. (2009). Ñuña. In *Dirección de Extensión Agraria - Unidad de Medios y Comunicación Técnica*. <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/244/1/HD-6-2009-%C3%91u%C3%B1a.pdf>
- Jia, Y., Yuan, B., Yang, Y., Zheng, C., & Zhou, Q. (2023). Flavor characteristics of peeled walnut kernels under two-steps roasting processes. *Food Chemistry*, 423(December 2022), 136290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136290>
- Lau Luin, M. K.-C. (2002). *El efecto del proceso de tostado sobre algunos parámetros nutricionales del frijol terciopelo (Mucuna spp.)*. <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/148>
- Magro Porras, M. A. (2015). Caracterización fisicoquímica, química a partir de la semilla germinada de linaza (Linum usitatissimum) mediante autoclavado y tostado. *Tesis de Pregado. Universidad Nacional Del Centro Del Perú. Perú*, 125.
- Melo, I., & Ligarreto, G. (2010). Contenido de taninos en el grano y características agronómicas en cultivares de frijol común “tipo reventón.” *Agronomía Colombiana*, 18.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2016). *LEGUMINOSAS DE GRANO “Semillas nutritivas para un futuro sostenible”* (Heinz Plenge Pardo, Ed.; 1ra. Ed., Vol. 1). www.minagri.gob.pe
- ONU. (2018). *Nuestras legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bbacf768-1b9a-4ab7-8de8-0a08cc2cf835/content>

- O-Olán, M. de la, Santacruz-Varela, A., Sangerman-Jarquín, D. M., Gámez-Vázquez, A. J., Arellano-Vázquez, J. L., Valadez-Bustos, M. G., Avila Perches, M. A., O-Olán, M. de la, Santacruz-Varela, A., Sangerman-Jarquín, D. M., Gámez-Vázquez, A. J., Arellano-Vázquez, J. L., Valadez-Bustos, M. G., & Avila Perches, M. A. (2018). Estandarización del método de reventado para la evaluación experimental del maíz palomero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1471–1482. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V9I7.1675>
- Otálora, J. M., Ligarreto, G. A., & Romero, A. (2006a). Comportamiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo reventón por características agronómicas y de calidad de grano. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 7–16. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20005>
- Pacheco-Coello, F., Torres, R., Arvelo, T., & Velasquez, I. (2020). Variación de la actividad antioxidante por efecto del tostado en granos de café (*Coffea arabica*), estado Miranda, Venezuela. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(2), 49–56. <https://doi.org/10.22206/cac.2020.v3i2.pp49-56>
- Parker, M. L., Grant, A., Rigby, N. M., Belton, P. S., & Taylor, J. R. N. (1999). Effects of Popping on the Endosperm Cell Walls of Sorghum and Maize. *Journal of Cereal Science*, 30(3), 209–216. <https://doi.org/10.1006/JCRS.1999.0281>
- Santa Cruz & Vásquez. (2023a). *catalogo de Nuña del banco de germoplasma del INIA*. 51 1, 140.
- Soledad, M. (2020). *Contribución al concepto de actividad del agua (aw) y su aplicación en la ciencia y tecnología de alimentos en Latinoamérica y Venezuela*. LXXX(2), 18–40.
- Sruthi, N. U., Premjit, Y., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Ramesh, S. V. (2021). An overview of conventional and emerging techniques of roasting: Effect on food bioactive signatures. *Food Chemistry*, 348, 129088. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129088>

- Wang, X., & Lim, L. T. (2015). Physicochemical Characteristics of Roasted Coffee. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 247–254. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00027-9>
- Youn, K. S., & Chung, H. S. (2012). Optimization of the roasting temperature and time for preparation of coffee-like maize beverage using the response surface methodology. *Lwt*, 46(1), 305–310. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.014>
- Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, A. L. (2016). *Sears and Zemansky's University Physics: With Modern Physics* (Pearson, Ed.).
- Yuste-Lisbona, F. J., Santalla, M., Capel, C., García-Alcázar, M., De La Fuente, M., Capel, J., De Ron, A. M., & Lozano, R. (2012). Marker-based linkage map of Andean common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and mapping of QTLs underlying popping ability traits. *BMC Plant Biology*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-136/FIGURES/2>

VIII. Anexos

Anexo 1

Resultado de diferentes tratamientos

Repeticiones	Tratamientos	Tiempo de tostado (Min.)	Velocidad Rotacional (RPM)	Capacidad de reventado (%)
R1	T1	3.5	57.5	0.00
	T2	6.5	57.5	3.16
	T3	3.5	132.5	2.69
	T4	6.5	132.5	45.73
	T5	3.0	95.0	0.24
	T6	7.0	95.0	58.48
	T7	5.0	42.0	41.77
	T8	5.0	148.0	51.35
	T9	5.0	95.0	59.56
	T10	5.0	95.0	48.83
	T11	5.0	95.0	67.93
R2	T1	3.5	57.5	0.00
	T2	6.5	57.5	0.72
	T3	3.5	132.5	0.00
	T4	6.5	132.5	63.72
	T5	3.0	95.0	10.87
	T6	7.0	95.0	72.09
	T7	5.0	42.0	48.66
	T8	5.0	148.0	63.90
	T9	5.0	95.0	69.27
	T10	5.0	95.0	74.30
	T11	5.0	95.0	86.39