

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



TESIS

**“Optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de
copoazú (*Theobroma grandiflorum*)”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

Bach. QUILLA ABARCA, Rocío Pamela

Bach. CONTO CHUCO, Sergio Abel

ASESOR:

Mtr. BELIZARIO FERREL, José Carlos

CO-ASESOR:

Dr. QUISPE HERRERA, Rosel

Puerto Maldonado, agosto de 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



TESIS

**“Optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de
copoazú (*Theobroma grandiflorum*)”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

Bach. QUILLA ABARCA, Rocío Pamela

Bach. CONTO CHUCO, Sergio Abel

ASESOR:

Mtr. BELIZARIO FERREL, José Carlos

CO-ASESOR:

Dr. QUISPE HERRERA, Rosel

Puerto Maldonado, agosto de 2025

DEDICATORIA

A mis padres, Jorge y Roxana: Papá, gracias a tu valentía para superar el dolor y a tu sacrificio al dejar atrás lo que más amabas, aprendí que no existe obstáculo insuperable. Mamá, te agradezco profundamente porque, en una etapa donde parecía que todo se perdía, tú me devolviste la vida con tu cuidado incansable y tu amor incondicional. Aunque tampoco fue fácil para ti, estuviste a mi lado entregándome fuerza y esperanza, como si me hubieras dado una segunda oportunidad para nacer y vivir plenamente. De igual manera, a mis hermanos, quienes me alentaron a mantenerme firme cuando el dolor y la tristeza parecían vencerme, recordándome que nunca estoy sola. Finalmente, a mi pareja, por llegar en el momento preciso, por compartir mi pasión profesional y acompañarme en este nuevo camino, ayudándome a reencontrar la confianza en mí misma. Por todo ello, este triunfo es el reflejo de su amor, su fe y su apoyo incondicional.

QUILLA ABARCA, Rocío Pamela

A mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, los cuales me ayudaron a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

También dedico a mi hijo Iker Gael quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para él.

CONTO CHUCO, Sergio Abel

TURNITIN_ROCIO QUILLA Y CONTO CHUCO

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unamad.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
2	333shopcdn-19890.kxcdn.com	2%
	Fuente de Internet	
3	es.scribd.com	2%
	Fuente de Internet	
4	Submitted to Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios	1%
	Trabajo del estudiante	
5	repositorio.umsa.bo	1%
	Fuente de Internet	
6	andina.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	www.draminski.es	1%
	Fuente de Internet	
8	pdfcoffee.com	1%
	Fuente de Internet	
9	www.scribd.com	

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*), fruto de gran valor económico y cultural en la Amazonía. La investigación se enfoca en identificar las condiciones óptimas de temperatura de secado y contenido de humedad inicial, contribuyendo al desarrollo sostenible de la agroindustria en Madre de Dios. El Capítulo I aborda el problema de investigación, estableciendo los objetivos, hipótesis y justificación del estudio. Asimismo, se definen las variables y su operacionalización, que sirven de base para el análisis experimental. El Capítulo II desarrolla el marco teórico, presentando antecedentes relevantes sobre el copoazú, su procesamiento y las tecnologías de descascarillado. También se incluyen definiciones conceptuales que sustentan la comprensión del tema. El Capítulo III describe la metodología, incluyendo el diseño experimental factorial, la selección de la muestra, los materiales utilizados, y las técnicas para recolección y análisis de datos. Además, se presenta un flujograma del proceso seguido. Finalmente, se presentan los resultados, las conclusiones y las recomendaciones. El estudio demuestra que la temperatura de 40 °C y un contenido de humedad del 10 % son condiciones óptimas para maximizar el rendimiento. Esta propuesta representa un avance significativo para la cadena productiva del copoazú, beneficiando a los productores locales y promoviendo su competitividad.

INTRODUCCIÓN

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*), fruto nativo de la Amazonía, ha ganado relevancia como recurso estratégico debido a su valor económico, nutricional y cultural (Campos et al. 2021). Su pulpa es utilizada en productos como jugos, mermeladas y helados, mientras que sus semillas permiten la elaboración de chocolates, manteca y cosméticos (Brack Egg 1999; Hernández et al. 2007). No obstante, uno de los principales desafíos para su aprovechamiento agroindustrial radica en el proceso de descascarillado, el cual, al realizarse de forma manual o con tecnología inadecuada, reduce la eficiencia y calidad del producto final (Paltrinieri y Figuerola 1997). En la región de Madre de Dios, donde este fruto es cultivado por pequeños productores, el desarrollo de tecnologías que mejoren el procesamiento representa una necesidad urgente para incrementar la competitividad y reducir pérdidas (MIDAGRI 2020). Estudios previos han demostrado que factores como la temperatura de secado y el contenido de humedad influyen directamente en la facilidad de descascarillado (Vilalba, Marsaioli y Pezoa 2004; Medrano 2010). Esta investigación tiene como objetivo determinar las condiciones óptimas de temperatura y humedad para maximizar el rendimiento del descascarillado del copoazú. Se aplicó un diseño experimental factorial 3x3, con el fin de proponer soluciones técnicas viables y sostenibles para los productores locales, contribuyendo al fortalecimiento de la cadena productiva y al desarrollo agroindustrial de la Amazonía peruana.

INDICE

DEDICATORIA	
PRESENTACIÓN.....	
INTRODUCCIÓN.....	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS:.....	
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 VARIABLES.....	2
1.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:	2
1.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE:.....	2
1.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	3
1.4.1 DEFINICIONES	3
1.5 HIPÓTESIS	4
1.5.1 HIPÓTESIS NULA (H_0):.....	4
1.5.2 HIPÓTESIS ALTERNA (H_1):	4
1.6 JUSTIFICACIÓN	4
1.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	6
2.2 MARCO TEÓRICO	8

2.2.1 COPOAZU.....	8
a) Clasificación taxonómica:	8
b) Descripción botánica	9
c) Valor nutricional de la semilla de copoazú.....	9
d) Usos del copoazú	10
e) Composición química de las semillas de copoazú	10
f) Semilla de copoazú	11
2.2.2 DESAFÍOS EN EL DESCASCARILLADO	12
2.2.3 TECNICAS PARA DESCASCARILLADO	12
2.2.4 AVANCES RECIENTES EN EL DESCASCARILLADO	13
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	13
2.3.1 HUMEDAD	13
2.3.2 SECADO	13
2.3.3 OPTIMIZAR.....	14
2.3.5 DESCASCARADO DE LOS GRANOS O DESCASCARILLADO	15
2.3.6 RENDIMIENTO.....	15
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	17
3.1 TIPO DE ESTUDIO	17
3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO	17
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	18
3.3.1 POBLACIÓN	18
3.3.2 MUESTRA.....	18
a) Cálculo del tamaño de muestra	18
Cálculo:	19
b) Cálculo del número de tratamientos.....	19
3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS	20

3.4.2 Materia prima.....	20
3.4.3 Materiales	20
3.4.4 Equipos.....	20
3.4.5 Metodología.....	22
3.4.6 TRATAMIENTO DE LOS DATOS	24
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	25
4.2 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	26
4.3 COMBINACIÓN ÓPTIMA DE PARÁMETROS (TEMPERATURA Y HUMEDAD).....	27
4.3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL RENDIMIENTO	29
4.3.3 OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL DESCASCARILLADO .	31
4.3.4 VALOR ÓPTIMO	32
4.3.5 SUPERFICIE DE RESPUESTA.....	32
CONCLUSIONES	35
SUGERENCIAS	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS.....	43
ANEXO 01: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES ..	
ANEXO 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA	
ANEXO 03: FOTOGRAFIAS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables	3
Tabla 2: Valor nutricional de la semilla de copoazú	10
Tabla 3: La composición de las semillas de copoazú	10
Tabla 4: Composición del Copoazu	11
Tabla 5: Diseño factorial 3x3	17
Tabla 6: Especificaciones técnicas del higrómetro Draminski	21
Tabla 7: Especificaciones técnicas de la maquina descascarilladora.....	22
Tabla 8: Efectos estimados para Rendimiento del descascarillado (%).	28
Tabla 9: Rendimiento del descascarillado	29
Tabla 10: ANOVA para Rendimiento del descascarillado.	30
Tabla 11: Coeficiente de regresión para Rendimiento del descascarillado..	31
Tabla 12: Valor óptimo del rendimiento.....	32
Tabla 13: Optimización del Rendimiento del descascarillado.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes de la semilla.....	12
Figura 2: Ubicación del proyecto de tesis	20
Figura 3: Flujograma del proceso de descascarillado del copoazú.....	23
Figura 4: Efecto de la temperatura y humedad sobre el rendimiento.....	25
Figura 5: Influencia del contenido de humedad sobre el rendimiento	26
Figura 6: Diagrama de Pareto Estandarizada para rendimiento del descascarillado	27
Figura 7: Superficie de Respuesta Estimada	33
Figura 8: Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada	34
Figura 9: Tratamiento 1(A)	47
Figura 10: Tratamiento 2(B)	47
Figura 11: Tratamiento 3(C)	48
Figura 12: Tratamiento 4(D)	48
Figura 13: Tratamiento 5(E)	49
Figura 14: Tratamiento 6(F).....	49
Figura 15: Tratamiento 7(G).....	50
Figura 16: Tratamiento 5(H)	50
Figura 17: Tratamiento 9(I).....	51
Figura 18: Pesado de las Muestras.....	51
Figura 19: Higrómetro analógico	52
Figura 20: Higrómetro Digital	52
Figura 21: Estufa marca Durocell.....	53
Figura 22: Secado de los granos de copoazu en la estufa	53
Figura 23: Muestras listas para el descascarillado.....	54
Figura 24: Descascarillado de los granos de copoazu.....	54

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El copoazú es un árbol de la familia *Theobroma*, originario de la región amazónica de Sudamérica. Sus frutos son grandes, con una cáscara dura y una pulpa blanca y cremosa que tiene la ventaja de ser útil, ya que tanto la pulpa como la almendra pueden ser utilizadas en una variedad de productos, como jugos, dulces, mermeladas, helados, gaseosas y cerveza. Además, la almendra puede ser transformada en productos similares al chocolate y se puede extraer manteca para cosméticos (ACEAA 2021).

Este fruto posee notables propiedades cosméticas y nutricionales debido a su alto contenido de magnesio, fósforo, calcio y vitamina C. Su aroma lo hace adecuado como ingrediente aromatizante en la preparación de chocolate, helados, postres, licores y otros alimentos líquidos (INACAL 2021).

Su importancia económica radica en el fruto, cuya pulpa se puede comercializar fresca o industrializada. La semilla se utiliza para fabricar chocolates y la cáscara como abono orgánico (Meneses 2020).

El copoazú, un fruto tropical con alto valor nutricional, está emergiendo como un producto emblemático de la región Madre de Dios. Es crucial fomentar su desarrollo agroindustrial en la Amazonía, manteniendo altos estándares de calidad en su cadena productiva. Además, el copoazú es utilizado en una amplia variedad de productos como jugos, néctares, mermeladas, refrescos, helados, cremas, compotas, dulces, bizcochos, yogurt y licores (TCA 1999).

A pesar de su potencial industrial, el procesamiento del copoazú presenta limitaciones importantes. El descascarillado, en particular, carece de tecnología adecuada y suele realizarse de manera manual, lo que convierte el proceso en una tarea tediosa y poco productiva. Esta situación limita la capacidad de los productores para responder a la creciente demanda del

mercado y afecta la competitividad de la cadena productiva del copoazú. Por ello, es crucial desarrollar tecnologías que optimicen este proceso, promoviendo así el desarrollo agroindustrial sostenible de este fruto emblemático de la Amazonía.

1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los parámetros para optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*)?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros para optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*)

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el efecto de la temperatura de secado a (40°C, 50°C y 60°C) en la eficiencia del descascarillado de los granos de copoazú.
- Evaluar la influencia del contenido de humedad (10%, 15% y 20%) en el rendimiento del descascarillado.
- Determinar la combinación óptima de parámetros (temperatura y humedad) que maximice la proporción de granos enteros recuperados.

1.3 VARIABLES

1.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Parámetros del proceso de descascarillado, que incluyen:

- Temperatura: 40°C, 50°C, y 60°C.
- Humedad inicial del grano: 10%, 15%, y 20%.

1.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Rendimiento del descascarillado, medido como:

- Pérdidas por fragmentación.

1.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORES
Variable independiente Parámetros del proceso de descascarillado	Proceso de secado de los granos de copoazú	Temperatura de secado (°C)	40°C, 50°C, 60°C
	Contenido de humedad	Porcentaje de humedad en los granos (%)	10%, 15%, 20%
Variable dependiente Rendimiento del descascarillado	Rendimiento del descascarillado.	Pérdidas por fragmentación	Resultado medido en %

Fuente: Elaboración propia

1.4.1 DEFINICIONES

a) Proceso de secado de los granos de copoazú (°C)

Representa las condiciones térmicas aplicadas a los granos de copoazú para facilitar el descascarillado. Es fundamental para modificar la dureza de la cáscara y la humedad interna, lo que influye directamente en la eficiencia del proceso (Medrano 2010).

b) Contenido de humedad (%)

Indica el nivel de agua presente en los granos previo al proceso de descascarillado. Este factor afecta la elasticidad de la cáscara y la facilidad para separarla de los nibs (Vilalba, Marsaioli y Pezoa 2004).

c) Rendimiento del descascarillado (%)

Mide la eficiencia del descascarillado en términos del material aprovechable (nibs) obtenido al final del proceso (Goyal, Vishwakarma y Wanjari 2009). Un mayor porcentaje implica un rendimiento más eficiente y menos desperdicios (Romuli, Karaj y Müller 2017).

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS NULA (H_0):

El secado a diferentes temperaturas y el contenido de humedad inicial optimizan significativamente el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*).

1.5.2 HIPÓTESIS ALTERNA (H_1):

El secado a diferentes temperaturas y el contenido de humedad inicial no tienen un efecto significativo en el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*).

1.6 JUSTIFICACIÓN

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es un recurso estratégico para la Amazonía peruana por su valor económico, nutricional y potencial industrial (Hernández et al. 2007), siendo cultivado por más del 70% de los pequeños agricultores de Madre de Dios como principal fuente de ingresos (MIDAGRI 2020). Sin embargo, el proceso de descascarillado “etapa clave para su transformación” presenta serias limitaciones tecnológicas que generan pérdidas de producto y reducen la competitividad del sector (Paltrinieri y Figuerola 1997). Optimizar este proceso es crucial para incrementar la eficiencia, reducir costos y mejorar la calidad de derivados (chocolates, aceites, manteca) con alta demanda. Estudios indican que ajustar parámetros como la temperatura de secado y humedad puede mejorar significativamente el rendimiento (Medrano 2010); (Vilalba, Marsaioli y Pezoa 2004). Esta investigación busca proveer soluciones prácticas y sostenibles que fortalezcan la cadena de valor del copoazú, promuevan la sostenibilidad y posicionen a Madre de Dios como referente agroindustrial amazónico.

1.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS

La presente investigación se desarrolló bajo estrictos lineamientos éticos establecidos por la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD) y las normativas nacionales, como el Decreto Supremo N.º 0082005-SA del Reglamento Ético en Investigación en el Perú. Se informó

detalladamente a todas las personas y organizaciones involucradas sobre los objetivos, procedimientos y posibles impactos de este trabajo. Asimismo, se garantizaron la privacidad y confidencialidad de los datos recolectados.

Se priorizó el respeto al medio ambiente, minimizando cualquier impacto ambiental negativo durante el manejo y procesamiento de los granos de copoazú. Las prácticas experimentales se alinearon con los principios de sostenibilidad, fomentando el uso responsable de recursos naturales y el manejo adecuado de residuos generados durante el estudio.

De esta manera, se asegura que la investigación no solo cumpla con altos estándares éticos, sino que también contribuya al desarrollo responsable de la cadena productiva del copoazú en Madre de Dios.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Galindo y Galindo (2022), en su tesis de pregrado titulada "Extracción y caracterización física, química, cromatográfica y espectrofotométrica de la manteca de copoazú (*Theobroma grandiflorum*)", tuvieron como objetivo evaluar el rendimiento de extracción de manteca de copoazú bajo diferentes condiciones de prensado. Las variables estudiadas fueron temperatura, presión y tiempo de calentamiento. Como resultado, se obtuvieron parámetros óptimos para maximizar la calidad y el rendimiento del producto. Se concluyó que el control de estos factores es crucial para mejorar el aprovechamiento industrial del copoazú.

Criollo, Sandoval y Méndez (2020), estudiaron el "Impacto del tostado en las propiedades sensoriales del copoazú", buscaron analizar cómo el perfil de tostado afecta el sabor y la acidez del licor de copoazú. Las variables consideradas fueron temperatura y tiempo de tostado. Los resultados mostraron que temperaturas elevadas y tiempos prolongados generan sabores dulces y baja acidez. Concluyeron que el control del tostado es fundamental para diversificar los productos derivados del copoazú.

Mogrovejo y Torres (2020), en su tesis de pregrado "Extracción de manteca de copoazú por prensado hidráulico de semillas pretratadas enzimáticamente", se propusieron evaluar el efecto del pretratamiento enzimático en el rendimiento de extracción. Las variables incluyeron temperatura, tiempo y proporción enzima-sustrato. Los resultados indicaron un aumento significativo en la eficiencia del proceso. Se concluyó que la aplicación de enzimas puede optimizar la obtención de manteca.

Cajo y Díaz (2018), en su investigación "Determinación de los parámetros óptimos de tostado de la semilla de copoazú para la obtención de chocolate", tuvieron como objetivo identificar las condiciones ideales de tostado. Las variables fueron temperatura y humedad. Determinaron que 130 °C por 20 minutos y 7 % de humedad lograron mejores características organolépticas. Concluyeron que el control de estos parámetros mejora notablemente la calidad del chocolate de copoazú.

Rojas y Villagra (2016), en su tesis de pregrado "Evaluación de los métodos de fermentación y secado para el beneficio de semilla del copoazú", evaluaron cómo influyen estos métodos en la calidad del producto final. Las variables fueron tipo de fermentación y tipo de secado. Los resultados mostraron que la fermentación natural y el secado en bandejas de madera mejoraron la calidad del chocolate. Concluyeron que es necesario estandarizar estos procesos para obtener mejores derivados.

Galeano, Liceth y Schinella (2012), en su artículo científico "Influencia del procesamiento del grano de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) sobre la actividad antioxidante y el contenido fenólico", evaluaron el impacto de las etapas de fermentación, secado y tostado en los compuestos bioactivos del grano de copoazú de tres zonas geográficas del Caquetá (Vega, Montaña, Lomerío). Las variables fueron el contenido de polifenoles (fenoles, antocianinas, flavonoides) y la actividad antioxidante (métodos DPPH y ABTS). Los resultados determinaron que los granos fermentados presentaron el mayor contenido polifenólico y actividad antioxidante, mientras que el secado y tostado redujeron estos parámetros en un 39-45% debido a las altas temperaturas (pérdidas de hasta 70% en polifenoles). Concluyeron que la fermentación preserva los compuestos bioactivos, mientras que las etapas posteriores degradan significativamente su potencial antioxidante, similar a lo reportado en *Theobroma cacao*.

Motta L, (2010), en su tesis de pregrado "*Competitividad y Sostenibilidad de la Agroindustria del Copoazú (Theobroma grandiflorum) en Madre de Dios*", evaluó la situación competitiva mediante el modelo del diamante de Porter y

la sostenibilidad bajo criterios económicos, sociales y ambientales. Las variables analizadas incluyeron condiciones factoriales (básicas/avanzadas), estrategia empresarial, industrias de apoyo, demanda, rol estatal y casualidad. Los resultados identificaron deficiencias críticas en factores avanzados (tecnología, capacitación e infraestructura), baja rentabilidad en pequeños productores (ROI del 3%) y escasa articulación gremial. Concluyó que la actividad era insostenible y propuso cinco estrategias de mejora: 1) Fortalecimiento de capacidades productivas, 2) Desarrollo empresarial procesador, 3) Promoción de creatividad comercial, 4) Reactivación de la Cámara de Comercio, y 5) Creación de un centro de investigación para el copoazú.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 COPOAZU

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es un árbol frutal tropical de la familia Malvaceae, conocido por su fruto de alto valor económico y nutricional. Originario de la Amazonía, el copoazú es utilizado en la elaboración de diversos productos alimenticios y cosméticos (ACEAA 2021).

a) Clasificación taxonómica:

El copoazú es parte de la familia Sterculiaceae, que incluye aproximadamente 65 géneros y cerca de 1,000 especies, distribuidas principalmente en regiones tropicales y subtropicales (Cronquist 1981). En Brasil, esta familia está representada por once géneros y cerca de 115 especies.

Reino Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Theobroma*

Especie: *Theobroma grandiflorum*

Nombre común: Copoazú, cacao blanco copoasú. cupuasú. (TCA 1999)

b) Descripción botánica

El árbol perennifolio puede alcanzar hasta 20 metros de altura y 45 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) en su hábitat natural. Tiene un tronco recto con base acanalada y ramificación plagiotrópica. La corteza externa es fibrosa, anaranjada y se desprende en tiras largas. Las hojas son simples, alternas y con estípulas, con un pecíolo corto de 7 a 14 mm de longitud. La inflorescencia es cimosa axilar con pedúnculos cortos. Las flores bisexuales, en número de 3 a 5 o más, tienen un cáliz con 5 sépalos libres o 5 lóbulos de color rojizo, una corola con 5 pétalos rojizos, un ovario súpero y 5 estambres. El fruto es una cápsula elíptica u oblonga, de 15 a 45 cm de largo y de 10 a 15 cm de diámetro, con un peso promedio de 1.2 kg que varía de 0.2 a 5 kg. El epicarpio es verde, con tomento ferruginoso puberulento, de textura lisa y consistencia dura leñosa, con un espesor de 2 a 4 mm. El meso-endocarpo es suave y succulento cuando madura, de 5 a 7 cm. Las semillas, en número de 30 a 50, están rodeadas por un arilo jugoso y fibroso de color crema o amarillento, con un sabor dulce y aroma agradable (Brack Egg 1999)

c) Valor nutricional de la semilla de copoazú

La semilla tiene el siguiente valor nutricional (% materia seca):

Tabla 2: Valor nutricional de la semilla de copoazú

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	20.0
Grasas	50.8
Carbohidratos	15.9
Fibras	9.6
Cenizas	3.7

Fuente: (Brack Egg 1999)

d) Usos del copoazú

La pulpa del fruto se utiliza para la elaboración de refrescos, mermeladas, helados, compotas, licor y yogurt y para comer crudo, las semillas se emplean en la producción de chocolate blanco y manteca para productos dermatológicos (Brack Egg 1999)

e) Composición química de las semillas de copoazú

La composición de las semillas de copoazú se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3: La composición de las semillas de copoazú

Componentes	Porcentaje (por 100g)
Agua	4.7
Proteína	10.2
Carbohidratos	28.9
Ceniza	2.7
Lípidos	53.5
Fibra	29.8
Calcio	69.1mg
Fósforo	351mg
Hierro	0.2mg
Potasio	709mg
Magnesio	253mg
Vitamina C	20mg

Fuente: (Campos et al. 2021)

Además, cabe mencionar que las semillas son esencialmente oleaginosas, con un contenido de lípidos superiores al 50%, presentando, sin embargo, cantidades considerables de proteínas y carbohidratos. Los principales ácidos grasos presentes en el aceite son los ácidos oleico y esteárico. En proporciones menores se encuentran también los ácidos araquídico, palmítico, linoleico, bénico, gadoléico, heptadecanoico y palmitoléico (Campos et al. 2021)

f) Semilla de copoazú

Las semillas de copoazú representan: 1,19% del peso de la fruta. La composición física de las almendras fermentadas de copoazú, el cotiledón representa el mayor porcentaje con 71,54%, seguido por la testa y germen, con 27,81% e 0,65% respectivamente (Vilalba 2003)

Tabla 4: Composición del Copoazu

Componentes	Cantidad
Número de semillas	45
Peso húmedo del fruto	1570g
Cascara (%)	49.02
Pulpa (%)	33.8
Semillas (%)	14.9
Placenta (%)	2.21

Fuente: (Vilalba 2003)

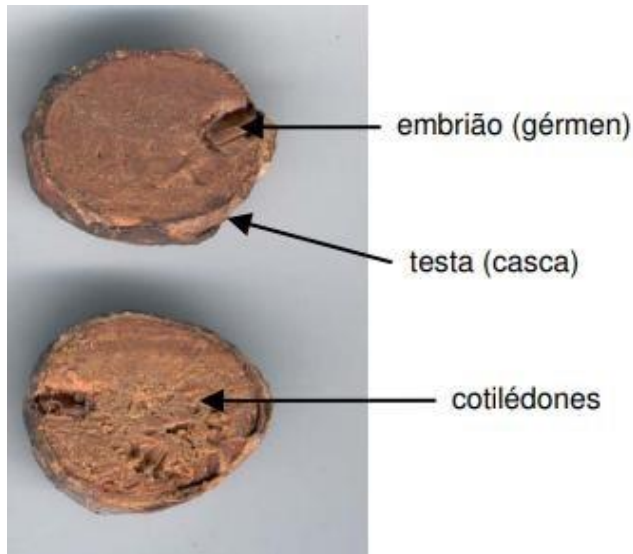


Figura 1: Partes de la semilla

Fuente: (Hernández et al. 2007)

2.2.2 DESAFÍOS EN EL DESCASCARILLADO

El proceso de descascarillado de los granos de copoazú presenta varios desafíos, entre ellos:

- a) **Dureza de la cáscara:** La cáscara de los granos es relativamente dura, lo que dificulta su remoción sin dañar la semilla (Asociación Boliviana para la Investigación y Conservación de Ecosistemas Andino-Amazonicos (ACEAA 2021)
- b) **Variabilidad en el tamaño de los granos:** La variabilidad en el tamaño y forma de los granos complica la estandarización del proceso (ACEAA 2021).
- c) **Contenido de humedad:** El contenido de humedad de los granos puede afectar la eficiencia del descascarillado (Fernández y Pinedo 2006).

2.2.3 TECNICAS PARA DESCASCARILLADO

Las técnicas empleadas para el descascarillado de los granos de copoazú incluyen:

- a) **Mecánicos:** Utilización de máquina descascarilladora que aplican presión para romper la cáscara
- b) **Térmicos:** Aplicación de calor para debilitar la cáscara antes de su remoción (Fontangordo, Fernández y Del Rey 2020).
- c) **Químicos:** Uso de soluciones químicas para ablandar la cáscara (Fontangordo, Fernández y Del Rey 2020).

2.2.4 AVANCES RECIENTES EN EL DESCASCARILLADO

Recientes investigaciones han enfocado en la optimización del proceso de descascarillado mediante:

- a) **Desarrollo de Equipos Especializados:** Innovaciones en el diseño de máquinas descascarilladoras que mejoran la eficiencia y reducen el daño a las semillas (Fontangordo, Fernández y Del Rey 2020).
- b) **Control de Parámetros de Proceso:** Ajustes en la temperatura y tiempo de tratamiento para maximizar la eficiencia del descascarillado (Fontangordo, Fernández y Del Rey 2020).
- c) **Estudios de Pretratamiento:** Evaluación de pretratamientos como la inmersión en soluciones específicas para facilitar el descascarillado (Fontangordo, Fernández y Del Rey 2020).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1 HUMEDAD

Todos los alimentos contienen agua en diferentes proporciones. El agua en los alimentos se presenta en dos formas: agua libre y agua ligada. El agua libre es la forma predominante y se elimina fácilmente por evaporación o secado. El agua ligada está químicamente unida a las proteínas y a las moléculas de sacáridos, y adsorbida en la superficie de las partículas coloidales (García y Fernández 2012)

2.3.2 SECADO

En general, el secado implica la eliminación de pequeñas cantidades de agua de un material. En este proceso, el agua casi siempre se elimina en una

mezcla de aire y vapor de agua. Los métodos para eliminar la humedad varían desde medios mecánicos, como prensas y máquinas centrífugas, hasta secado térmico con aire caliente por tiro natural o forzado ((Restrepo y Burbano 2005).

2.3.3 OPTIMIZAR

Buscar la mejor manera de realizar una actividad (RAE 2023).

2.3.4 OPTIMIZACIÓN DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

La optimización de superficies de respuesta es una técnica estadística utilizada para mejorar procesos y productos mediante el ajuste de variables de entrada para obtener resultados óptimos. Esta metodología es ampliamente aplicada en diversas industrias, desde la fabricación hasta la biotecnología, debido a su capacidad para manejar múltiples variables y objetivos.(Bezerra et al. 2008)

a) Optimización Robusta

La optimización robusta de superficies de respuesta se ha mejorado mediante el uso de modelos de regresión cuantílica bayesiana, que son insensibles a valores atípicos. Este enfoque permite obtener resultados de optimización más precisos al resistir perturbaciones en los datos experimentales (Yang et al. 2023).

b) Optimización de Respuesta Dual

La metodología de respuesta dual se ha optimizado utilizando enfoques de modelado difuso y programación por objetivos. Estos métodos permiten ajustar los pesos asignados a los objetivos de media y desviación estándar, facilitando la replicación de resultados previos y mejorando la calidad de los productos industriales (Kim y Lin 1998); (Tang y Xu 2002)

c) Optimización multiobjetivo

La metodología de superficie de respuesta combinada con algoritmos genéticos multiobjetivo ha sido utilizada para optimizar parámetros de canales con mejor rendimiento de flujo y transferencia de calor. Este enfoque ha demostrado alta precisión en los modelos de superficie de respuesta,

permitiendo un análisis cuantitativo de la influencia de los parámetros del canal (Zhao et al. 2022).

d) Aplicaciones en la industria

• Industria Alimentaria

La metodología de superficie de respuesta se aplica extensamente en la optimización de procesos alimentarios, como la extracción, secado y producción de metabolitos microbianos. La adecuada del diseño de RSM y la evaluación de la validez de las condiciones óptimas son cruciales para su éxito (Yolmeh y Jafari 2017).

• Optimización de Procesos de Biogás

En la optimización de procesos de biogás, RSM ha demostrado ser una herramienta estadística efectiva, logrando objetivos óptimos como el aumento de la biodegradabilidad y la producción de metano. Sin embargo, enfrenta desafíos como el rango experimental limitado, lo que ha llevado al desarrollo de técnicas combinadas con otros métodos de optimización (Djimtoingar et al. 2022).

2.3.5 DESCASCARADO DE LOS GRANOS O DESCASCARILLADO

La operación de descascarado se realizó mediante impacto utilizando un equipo piloto basado en un proceso centrífugo, ajustando la velocidad del rotor (revoluciones por minuto, rpm) con un variador de energía eléctrica. Después del descascarado mecánico de la muestra, el producto resultante se clasificó en cáscara, pepas enteras y otros (grano entero, grano parcialmente descascarado, pepas rotas y finos, definidos como partículas de tamaño < 2,00 mm). Cada parte se secó en una estufa de aire forzado durante 3 horas a 130°C (Umani et al. 2020).

2.3.6 RENDIMIENTO

La humedad afecta los resultados del rendimiento molinero, lo que tiene repercusiones económicas tanto positivas como negativas para quienes participan en el procesamiento del arroz. Con humedades iniciales bajas, inferiores al 20.00%, los rendimientos fueron altos, superiores al 66.00%. En

cambio, con humedades elevadas (arroz muy húmedo), superiores al 26.00%, los rendimientos disminuyeron a porcentajes inferiores al 62.00% (Silva 2019).

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE ESTUDIO

La investigación intitulada, “Optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*)” por la naturaleza de estudio es experimental, y por el tipo de estudio es analítico, el cual tuvo como finalidad manipular una o más variables en una muestra.

3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO

El diseño de la presente investigación se basó en un diseño experimental factorial 3×3. Este diseño permitió evaluar los efectos de dos factores independientes: temperatura (40°C, 50°C, y 60°C) y contenido de humedad (10%, 15%, y 20%) en el rendimiento del descascarillado del copoazú. Cada combinación de tratamiento se replicó tres veces, asegurando la confiabilidad de los resultados.

Tabla 5: Diseño factorial 3x3

TEMPERATURA DE SECADO Y HUMEDAD	10%	15%	20%
40°C	T1	T2	T3
50°C	T4	T5	T6
60°C	T7	T8	T9

Fuente: Elaboración propia (2023).

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

La población de estudio estuvo conformada por el Fundo Ruiz de aproximadamente 2Ha área de cultivo de copoazú, recolectados en el kilómetro 7 del corredor turístico Tambopata, margen derecha, ubicado en el distrito de Tambopata, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. Esta región se caracteriza por sus condiciones climáticas favorables para el cultivo del copoazú, lo que garantiza la representatividad del fruto para el presente estudio.

3.3.2 MUESTRA

Las muestras se recolectaron durante los meses de abril y mayo del 2024 y se seleccionaron 384 granos para cada repetición como muestra representativa para este estudio. La selección se realizó de manera intencionada, asegurando que los frutos estuvieran libres de impurezas y contaminantes, y que cumplieran con los estándares de calidad requeridos. Esta muestra, considerada no probabilística o dirigida, se eligió con base en las necesidades específicas de la investigación, como el análisis de rendimiento en el descascarillado bajo diferentes condiciones experimentales. El tamaño de la muestra es razonable para garantizar resultados confiables y reproducibles dentro del alcance del estudio.

a) Cálculo del tamaño de muestra

Población (N):

Masa total = 2 toneladas métricas = 2,000 kg.

Peso promedio por grano: Según estudios, los granos de copoazú en baba tienen un peso aproximado de 1.5–2.5 g/grano. Usaremos un valor conservador de 2 g/grano.

Tamaño poblacional (N): $N = \frac{2,000,000g}{\frac{2g}{grano}} = 1,000,000granos.$

Nivel de confianza: 90% (Z=1.96).

Margen de error (e): 10% (e=0.10).

Proporción esperada (p): Como no hay datos previos, usamos $p=0.5$ (maximiza la varianza y ofrece un tamaño conservador).

Fórmula para tamaño de muestra:

Para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Cálculo:

Sustituimos los valores:

$$n = \frac{1,000,000 \cdot (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{(0.05)^2 \cdot (1,000,000 - 1) + (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}$$

Simplificamos:

$$n = \frac{1,000,000 \cdot 3.8416 \cdot 0.25}{0.0025 \cdot 999,999 + 3.8416 \cdot 0.25} = \frac{960,400}{2,499.9975 + 0.9604} \approx \frac{960,400}{2,500.9579} \approx 384$$

Para 2 toneladas de granos de copoazú en baba, se requiere una muestra de **384 granos**

b) Cálculo del número de tratamientos

En el diseño factorial 3×3 empleado en la tesis, se evaluaron dos factores:

- Temperatura de secado (3 niveles: 40°C, 50°C, 60°C).
- Contenido de humedad (3 niveles: 10%, 15%, 20%).

Esto generó 9 combinaciones experimentales (3×3), cada combinación se replicó 3 veces, lo que resultó en un tamaño total de muestra de 27 unidades experimentales de 100 gramos (9 tratamientos $\times$ 3 repeticiones).

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

- Departamento : Madre de Dios
- Provincia : Tambopata
- Distrito : Tambopata

- Localidad : 7Km del corredor turístico Tambopata



Figura 2: Ubicación del proyecto de tesis

Fuente: (GOOGLE 2024)

3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.4.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de procesos agroindustriales ubicado en el primer piso del pabellón A de la Ciudad Universitaria con dirección Jr. Jorge Chávez 1160.

3.4.2 Materia prima

Granos frescos de copoazú recolectados en la región de Madre de Dios, específicamente del kilómetro 7 del corredor turístico Tambopata.

3.4.3 Materiales

- Frascos de vidrio con tapa hermética.
- Pinzas.
- Guantes quirúrgicos.
- Mascarillas.
- Bolsas de polietileno.
- Lentes de seguridad, marca KAMASA.
- Marcado permanente, marca Faber Castell.

3.4.4 Equipos

Medidor de humedad de granos DRAMINSKI.

Tabla 6: Especificaciones técnicas del higrómetro Draminski

Dimensiones	16,5 × 7,0 × 7,5 cm
Masa del aparato	520 g (con el juego de pilas y la tuerca)
Modo de rellenar la cámara	manual
Método de medición de la humedad	de impedancia en 4 frecuencias
Volumen de la muestra	90 ml
Control de la medición	microordenador de un solo elemento
Alimentación	4 pilas de 1,5 V tipo AA + 1 pila de 3 V tipo CR-2032
Consumo de energía	de 30 a 72 mA en dependencia de la configuración escogida
Indicador del estado de la batería	gráfico
Indicaciones de trabajo	humedad – 0,1%, temperatura – 0,1°C/°F
Precisión de la medición de la humedad	± 0,5 % para granos normalizados ± 1 % en el rango de hasta 10 % de humedad ± 1,5 % el rango por encima del 10 % de humedad y puede aumentar con el aumento de la humedad de la muestra
Precisión de la medición de la temperatura	± 0,5°C en el rango de 0°C a 85°C / ± 0,9°F en el rango de 32°F a 185°F
Rango de medición de temperatura	de 0°C a 125°C
Modificaciones de indicaciones	desde el teclado – opción de modificación
Almacenamiento de datos	memoria interna
Capacidad de la memoria interna	– 50000 mediciones con fecha y hora – 20 sondas externas de temperatura reconocidas automáticamente por el nº ID – 20 versiones de lengua – 400 especies
Verificación del estado de la memoria	de menú
Sonda de temperatura externa	con un detector de temperatura digital, conectado al enchufe mini USB
Compensación de temperatura	automáticamente
Temperatura de trabajo recomendada	de 10°C a 35°C
Temperatura de almacenamiento recomendada	de 5°C a 45°C
Código EAN	5906874410172

Fuente: Agromarket (2023)

Máquina descascarilladora de cacao.

Tabla 7: Especificaciones técnicas de la maquina descascarilladora

Marca	Candela
Modelo	JLGJ30
Capacidad (G/tiempo)	30 kg/h
Motor 1	1.5 HP
Motor 2	1.0 HP
Potencia (kW)	0.37
Tasa de descascarillado (%)	≥99.9
Tamaño exterior (LxWxH,mm)	710x360x690

Fuente: Candela (2025)

3.4.5 Metodología

El proceso inicia con la recolección y clasificación de los granos frescos de copoazú, asegurando que estén libres de impurezas. Posteriormente, en el laboratorio de procesos agroindustriales de la UNAMAD se realizó el secado a temperaturas específicas, ajustando el contenido de humedad. Las muestras secadas son procesadas en la máquina descascarilladora, donde se separa la cáscara del grano. Finalmente, se evalúa el rendimiento del descascarillado mediante análisis gravimétricos.

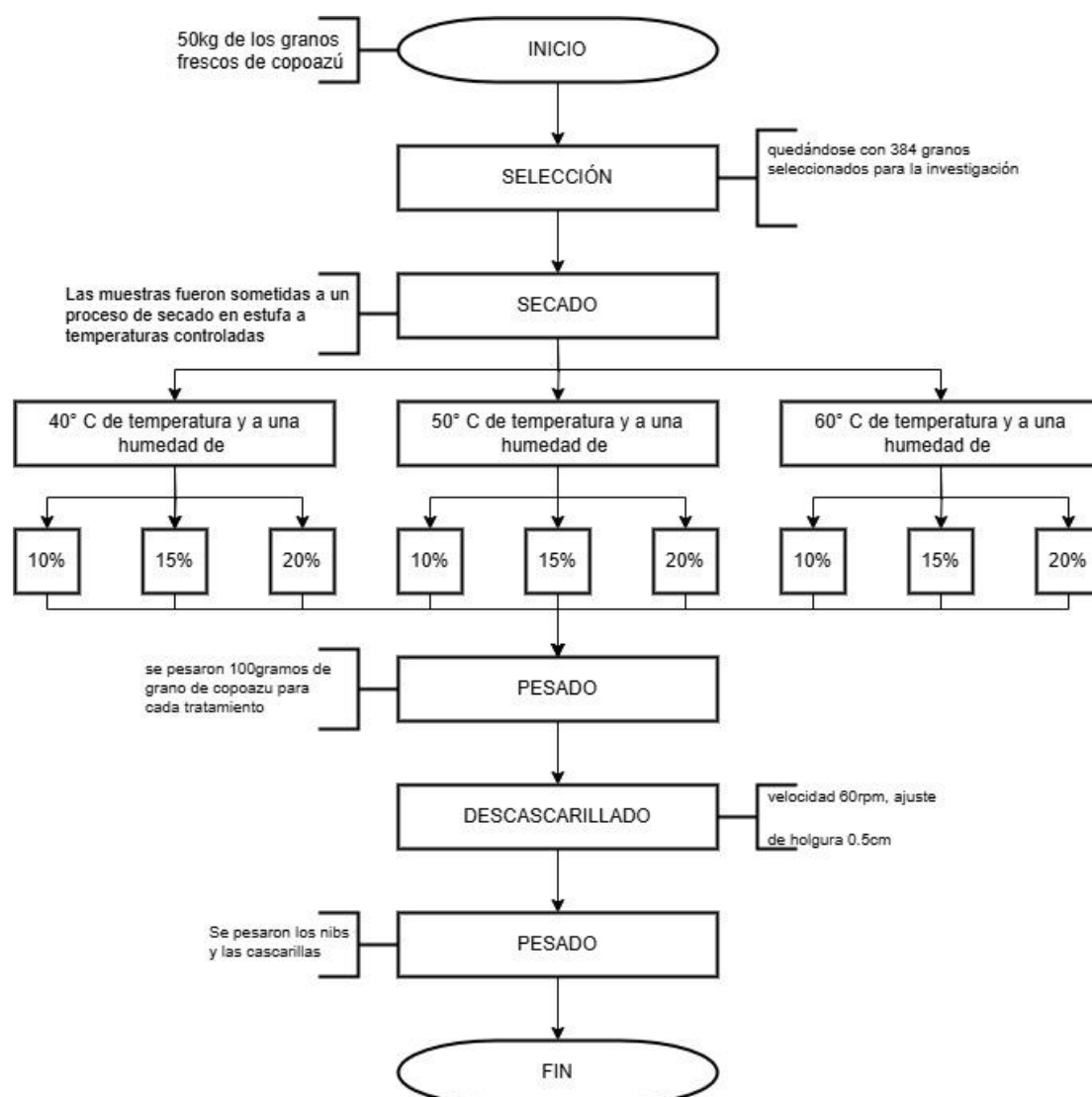


Figura 3: Flujograma del proceso de descascarillado del copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2024).

1. **Inicio:** Se recolectaron 50kg de los granos frescos de copoazú en el kilómetro 7 del corredor turístico Tambopata, siguiendo un procedimiento estándar para garantizar su calidad.
2. **Selección:** Se separaron granos del mismo tamaño y forma, descartándose granos planos o muy pequeños, quedándose con 384 granos para cada repetición seleccionados para la investigación.

3. **Secado:** Las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa a temperaturas controladas de 40°C, 50°C y 60°C, realizando la medición cada 2 horas hasta llegar al contenido de humedad a niveles de 10%, 15% y 20%.
4. **Pesado:** Luego se pesaron 100gramos de grano de copoazu para cada tratamiento y pasar a la siguiente etapa.
5. **Descascarillado:** Las muestras secadas fueron procesadas utilizando una máquina descascarilladora CANDELA para evaluar el rendimiento del proceso. Se mantuvieron constantes los parámetros operativos de la máquina (velocidad 60rpm, ajuste de holgura 0.5cm) para todos los tratamientos.
6. **Pesado:** Se pesaron los nibs y las cascarillas.
7. **Fin:** Se midió el rendimiento a cada tratamiento, utilizando técnicas gravimétricas.

3.4.6 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos obtenidos de los tratamientos (temperatura y contenido de humedad) fueron analizados utilizando el software estadístico Statgraphics 19 - X64. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos y determinar las interacciones entre las variables. Además, se utilizó un análisis de regresión para modelar y predecir los valores de rendimiento bajo diferentes combinaciones de condiciones experimentales.

Los resultados obtenidos se presentaron mediante gráficos y tablas para facilitar la interpretación de las relaciones entre los factores estudiados y el rendimiento del descascarillado.

CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD EN EL RENDIMIENTO

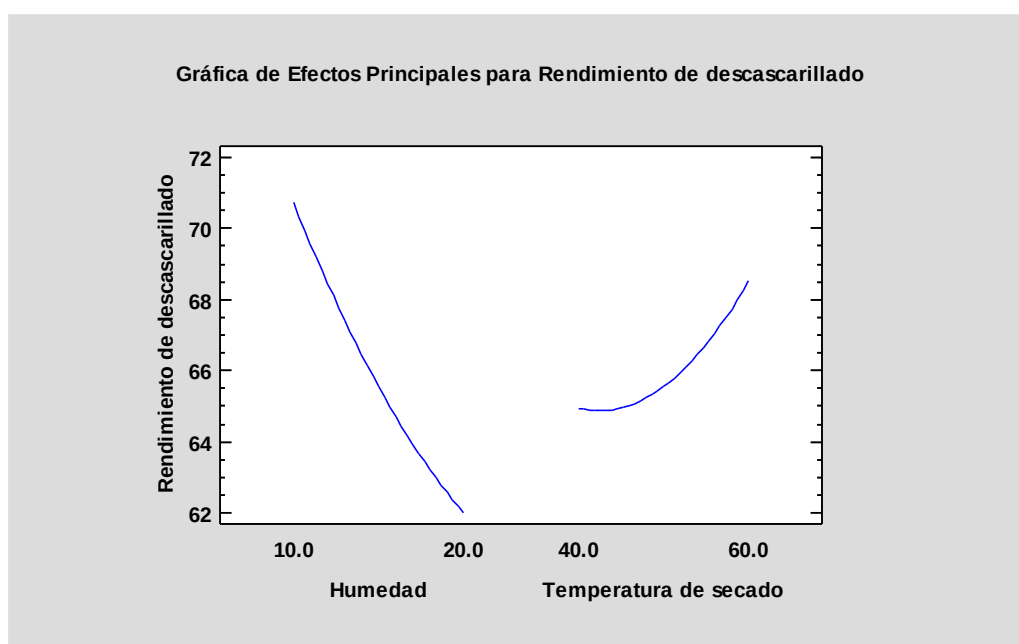


Figura 4: Efecto de la temperatura y humedad sobre el rendimiento

Fuente: Elaboración propia (2024)

La Figura 4 muestra los efectos principales de la humedad y la temperatura de secado sobre el rendimiento de descascarillado. En primer lugar, se observa una curva descendente en la parte izquierda de la figura, donde el rendimiento de descascarillado alcanza su valor máximo a una humedad de 10%. A medida que la humedad aumenta al 20%, el rendimiento disminuye, lo que indica que la humedad tiene un impacto negativo en la eficiencia del descascarillado. Esta tendencia es consistente con estudios previos en cultivos similares. Por ejemplo, Balentic et al. (2018) observaron que en cacao (*Theobroma cacao*), una reducción de humedad del 17% al 10% incrementa

el rendimiento en un 12% debido a la mayor fragilidad de la cáscara. Además, Baümler et al. (2003) determinaron que en girasol confitero, una humedad del 12% optimiza el descascarillado al equilibrar la elasticidad de la cáscara y la integridad del grano. En el caso del copoazú, niveles de humedad inferiores al 15% facilitan la separación mecánica al reducir la adhesión entre la cáscara y el nibs (Vilalba, Marsaioli y Pezoa, 2004).

En la parte derecha de la figura, se observa una curva ascendente correspondiente a la temperatura de secado. A una temperatura de secado de 40°C, el rendimiento es del 64.5%, pero a medida que la temperatura aumenta, el rendimiento también mejora, alcanzando un 68.5% a 60°C. Este comportamiento sugiere que un aumento en la temperatura de secado favorece el rendimiento del proceso de descascarillado, lo que es coherente con estudios que han mostrado que temperaturas más altas facilitan la ruptura de la cáscara debido a la mayor fragilidad del material.

4.2 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

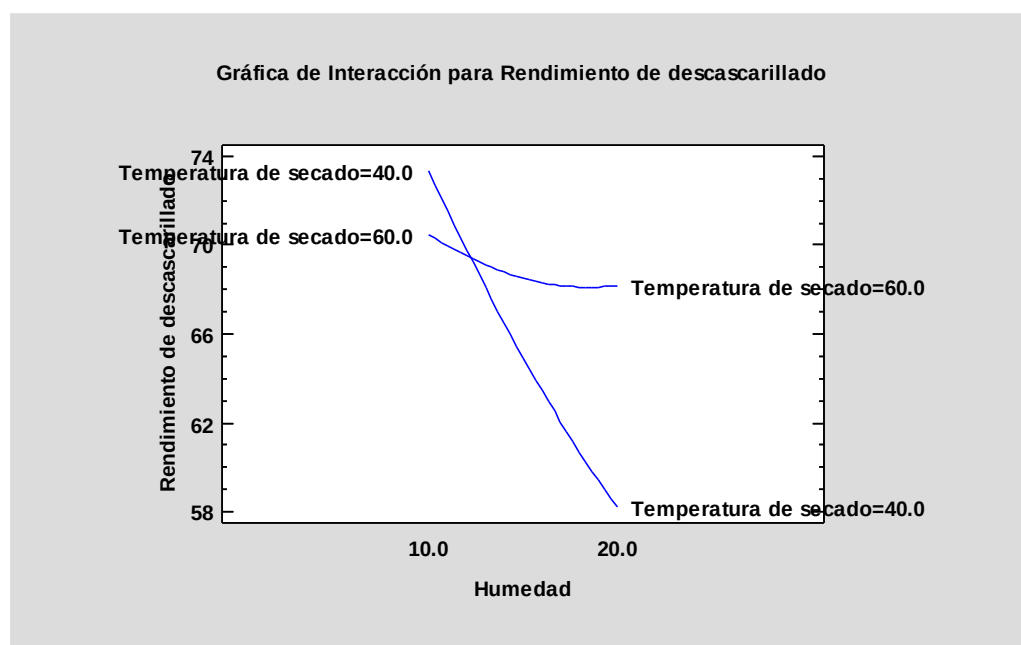


Figura 5: Influencia del contenido de humedad sobre el rendimiento

Fuente: Elaboración propia (2024).

La Figura 5, se observa dos líneas con una ligera curvatura, la línea de 40°C desciende de manera significativa a medida que aumenta la humedad y la

línea de 60°C mantiene una ligera curvatura en función del rendimiento es relativamente constante. Esto se explica por la plasticidad de la cáscara: a mayor humedad, la cáscara se vuelve más flexible y resistente al impacto mecánico, aumentando las pérdidas por fragmentación Goyal, Vishwakarma y Wanjari (2009). Estudios en cacao reportan efectos similares; Rojo-Poveda et al. (2020) demostraron que humedades mayores a 15% reducen la eficiencia de descascarillado en un 18-22% debido a la deformación plástica de la testa. Estos hallazgos subrayan la necesidad de controlar rigurosamente la humedad (<12%) en el preprocesamiento del copoazú.

4.3 COMBINACIÓN ÓPTIMA DE PARÁMETROS (TEMPERATURA Y HUMEDAD)

La combinación óptima de parámetros (temperatura y humedad) que maximice la proporción de granos recuperados.

4.3.1 EFECTOS ESTIMADOS PARA EL RENDIMIENTO DEL DESCASCARILLADO

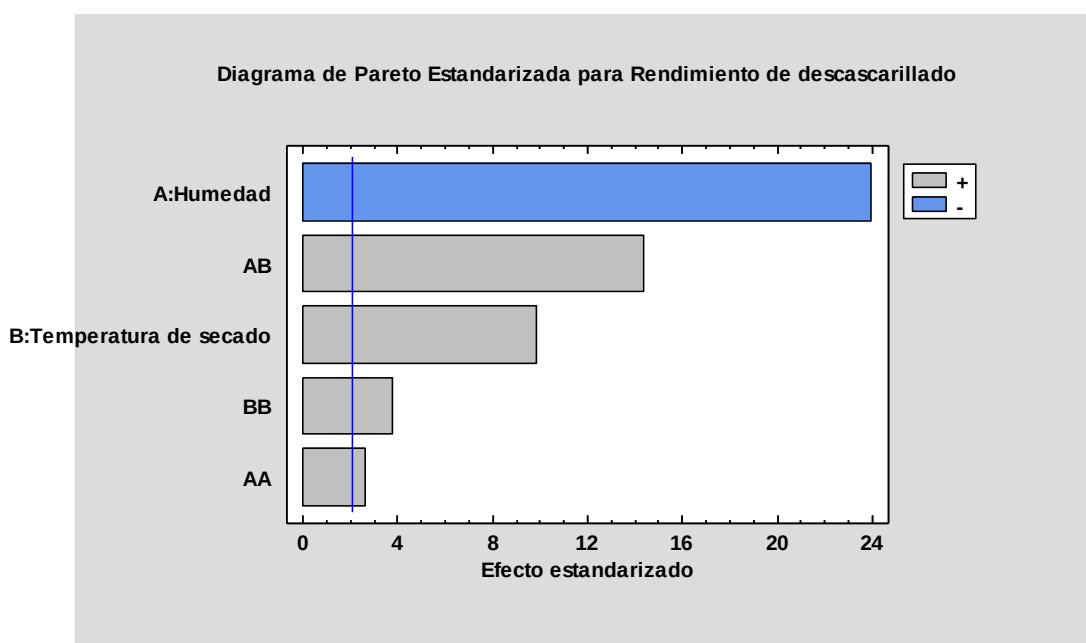


Figura 6: Diagrama de Pareto Estandarizada para rendimiento del descascarillado

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la figura 06 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento de descascarillado. En este diagrama se pueden observar los efectos de diferentes factores, como la humedad y la temperatura de secado, sobre el rendimiento de descascarillado. El factor más influyente en el rendimiento es la humedad, representada en el extremo izquierdo del gráfico. La barra correspondiente a la humedad (A: Humedad) es significativamente más alta en comparación con otros factores, lo que indica su fuerte impacto en el rendimiento de descascarillado. A medida que la humedad aumenta, se espera una disminución del rendimiento en el descascarillado, como se refleja en el gráfico. Este comportamiento es coherente con estudios previos, como el de Balentic et al. (2018), quienes encontraron que una reducción en la humedad mejora el rendimiento en cultivos como el cacao. La temperatura de secado también tiene un efecto notable sobre el rendimiento, aunque en menor medida. Se observa que los factores AB y BB (relacionados con la temperatura de secado) tienen barras de menor altura que la humedad, pero aun así contribuyen a la variabilidad del rendimiento. En este contexto, el aumento de la temperatura de secado parece mejorar ligeramente el rendimiento, aunque no de forma tan significativa como la humedad. Este análisis es consistente con investigaciones previas, como las de Baümler et al. (2003) y Vilalba et al. (2004), que indican que un equilibrio en la humedad y la temperatura optimiza el proceso de descascarillado. En particular, temperaturas elevadas (por ejemplo, 60°C) pueden aumentar el rendimiento del descascarillado al influir en la fragilidad de la cáscara y la separación mecánica de la cáscara del grano.

Tabla 8:Efectos estimados para Rendimiento del descascarillado (%).

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.*
promedio	65.5444	+/- 0.574984	
A: Humedad	-8.72	+/- 0.629863	1.0
B: Temperatura de secad	3.57333	+/- 0.629863	1.0
AA	1.64667	+/- 1.09095	1.0
AB	6.41	+/- 0.771422	1.0
BB	2.36667	+/- 1.09095	1.0

Intervalos de confianza del 90.0 de confianza (intervalos) basados en el error total con 19 g.l

* Factor de Inflación de la Varianza

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la tabla 8 y Figura 6, el contenido de humedad (A) es el factor más influyente (efecto estandarizado: -8.72), asimismo en el ANOVA (Tabla 10) muestra significancia estadística ($p=0.00$). Estudios como Okiyama, Navarro y Rodrigues (2017) en cacao destacan que la interacción temperatura-humedad (AB) es crítica esto refuerza la sinergia entre ambas variables AB de los resultados de la tabla 8.

4.3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL RENDIMIENTO

Tabla 9: Rendimiento del descascarillado

Tratamientos	Temperatura	Humedad	R_1	R_2	R_3	Promedio
T1	40° C	10%	73.55	72.75	72.85	73.05
T2	40° C	15%	65.50	64.50	65.00	65.00
T3	40° C	20%	58.72	58.02	58.52	58.42
T4	50°C	10%	72.50	70.50	71.50	71.50
T5	50°C	15%	64.00	65.50	65.50	65.00
T6	50°C	20%	62.28	61.08	61.98	61.78
T7	60° C	10%	71.00	69.00	70.00	70.00
T8	60° C	15%	70.15	68.20	68.30	69.00
T9	60° C	20%	69.19	67.69	67.69	68.19

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 9 se muestra los datos recolectados de los nueve tratamientos las combinaciones de temperatura y humedad, rendimiento de las tres repeticiones y el promedio del rendimiento llevados a cabo en el laboratorio de procesos agroindustriales.

Tabla 10: ANOVA para Rendimiento del descascarillado.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de</i>	<i>Gl Cuadrado</i>		<i>Razón- Valor-</i>	
	<i>Cuadrados</i>		<i>Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
A: Humedad	342.173	1	342.173	573.06	0.0000
B: Temperatura de secado	57.4592	1	57.4592	96.23	0.0000
AA	4.06727	1	4.06727	6.81	0.0172
AB	123.264	1	123.264	206.44	0.0000
BB	8.40167	1	8.40167	14.07	0.0014
Error total	11.3449	19	0.597099		
Total (corr.)	552.326	26			

Fuente: Elaboración propia (2024).

En el análisis de varianza (ANOVA), todos los efectos principales (humedad y temperatura de secado) y sus interacciones (AA, AB, BB) resultaron estadísticamente significativos ($p < 0.10$), confirmando su influencia en el rendimiento del descascarillado. La humedad (A) mostró el mayor impacto ($p = 0.0000$, SC = 342.173), seguida de la temperatura (B, $p = 0.0000$, SC = 57.4592), mientras que la interacción AB ($p = 0.0000$) reveló una sinergia crítica entre ambos factores. Estos hallazgos coinciden parcialmente con la literatura: mientras Balentic et al. (2018) respaldan el efecto de la humedad, la interacción AB contrasta con Okiyama et al. (2017), y la temperatura óptima (40°C) difiere de los 50-55°C reportados por Rojo et al. (2020), posiblemente por diferencias metodológicas o en variedades de cacao. Se recomienda un análisis de superficie de respuesta para optimizar las condiciones del proceso.

4.3.3 OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL DESCASCARILLADO

Para la optimización del rendimiento del descascarillado el paquete estadístico nos entrega el siguiente coeficiente de regresión en la tabla 11.

Tabla 11: Coeficiente de regresión para Rendimiento del descascarillado

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	154.759
A: Humedad	-5.065
B: Temperatura de secado	-1.96617
AA	0.0329333
AB	0.0641
BB	0.0118333

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la tabla 11 se muestra que tanto la humedad como la temperatura de secado ejercen un impacto negativo en el rendimiento, con coeficientes de -5.065 y -1.96617, respectivamente. Sin embargo, las interacciones entre estas variables (humedad x temperatura de secado) tienen un efecto positivo, con un coeficiente de 0.0641, sugiriendo que la combinación de estos factores influye de manera más compleja en el rendimiento del proceso. Además, los términos cuadráticos de ambas variables, con coeficientes de 0.0329333 (humedad) y 0.0118333 (temperatura de secado), indican relaciones no lineales que reflejan la variabilidad del rendimiento a medida que las condiciones de humedad y temperatura cambian. Obteniendo la siguiente ecuación:

$$Rd = 154.759 - 5.065 \times H - 1.96617 \times Ts + 0.0329333 \times H^2 + 0.0641 \times H \times Ts + 0.0118333 \times Ts^2$$

Donde:

Rd: Rendimiento del descascarillado

Ts: Temperatura de secado

H: Contenido de humedad

4.3.4 VALOR ÓPTIMO

La meta es maximizar el rendimiento del descascarillado, por lo que se obtiene en base a la ecuación anterior, se puede predecir lo siguiente:

Tabla 12: Valor óptimo del rendimiento.

<i>Predicción</i>	<i>Inferior 90.0% Límite</i>	<i>Superior 90.0% Límite</i>
73.3294	72.4914	74.1675

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la tabla 12, el modelo predice un rendimiento óptimo del descascarillado del 73.3294% bajo los parámetros que se detallan en la próxima tabla.

Tabla 13: Optimización del Rendimiento del descascarillado.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura de secado	40.0	60.0	40.0
Contenido de humedad	10.0	20.0	10.0

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la tabla 13 se aprecia los parámetros óptimos en la cuarta columna, donde la temperatura optima de secado es de 40.0°C y la humedad optima es de 10.0%.

4.3.5 SUPERFICIE DE RESPUESTA

Se generaron gráficos de superficie de respuesta y diagramas de interacción para visualizar las relaciones entre los factores y sus efectos sobre el rendimiento.

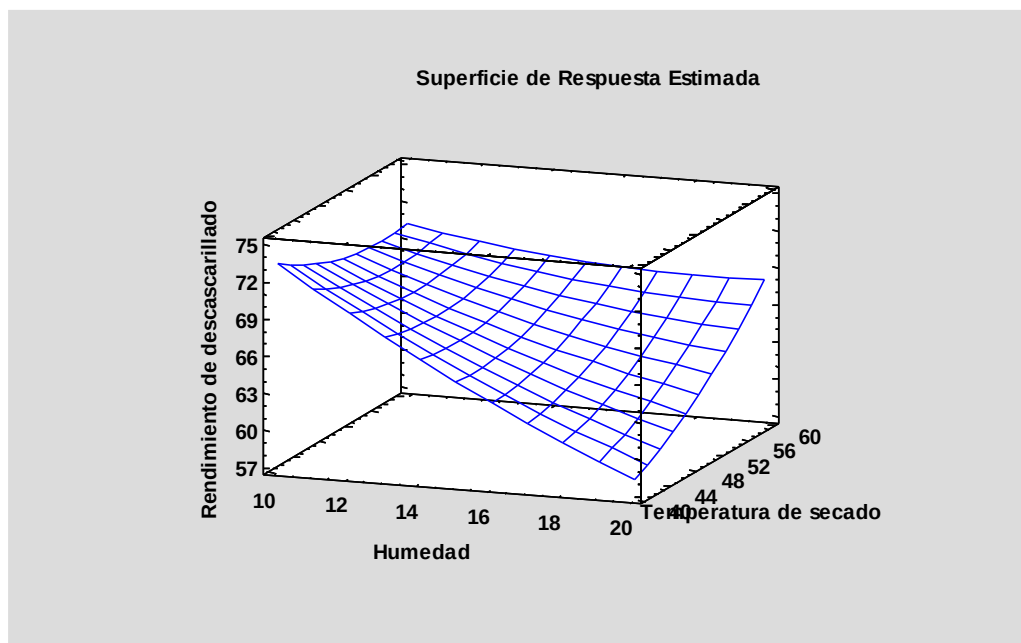


Figura 7: Superficie de Respuesta Estimada

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la figura 7, se observa en el eje X (temperatura de secado) los niveles de rendimiento son más altos son cercanos a 40°C, después va disminuyendo el rendimiento a medida aumenta la temperatura. Asimismo, en el eje Y (Contenido de humedad) los niveles de rendimiento son más bajos cercanos a 20%, incrementándose a los 10% de humedad como máximo. Rangos óptimos divergentes: (Rojo et al. 2020) obtuvieron mejores rendimientos a 50 y 55°C, sin embargo, nuestros datos indican mejores resultados a 40°C. Este contraste podría corresponder a diferencias en variedades de cacao o métodos de secado (Soares y Oliveira 2022).

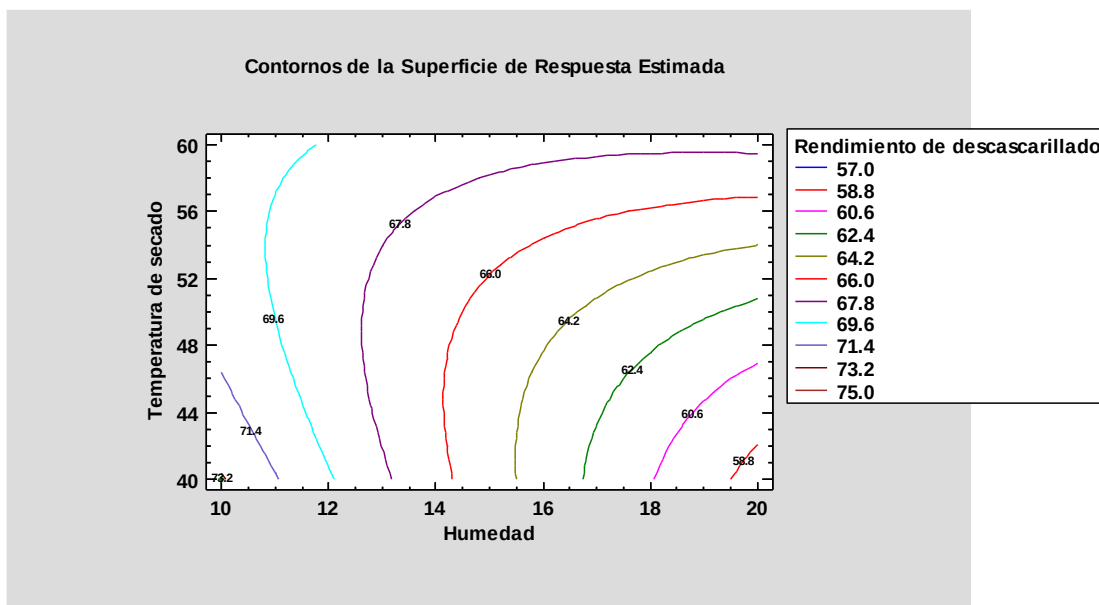


Figura 8: Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la figura 8, se muestra claramente las tendencias y los valores óptimos identificados para maximizar el rendimiento del descascarillado en curvas de nivel, en el margen inferior izquierdo se encuentra los parámetros con mejor rendimiento. Los parámetros para optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es de 40°C de temperatura de secado y 10% de humedad obteniéndose un rendimiento óptimo del descascarillado del 72.885%. El efecto de la temperatura (40°C, 50°C y 60°C) en la eficiencia del descascarillado de los granos de copoazú, no son estadísticamente significativos. Sin embargo, la influencia del contenido de humedad 10% obtuvo el mejor rendimiento para el descascarillado de copoazú. Asimismo, Shahama et al., (2023), desarrollo y evaluó el rendimiento de una desgranadora y aventadora de granos de cacao a una humedad de 11.9%, presentó mejor aptitud al descascarado de 67.2%. Bäumlér et al., (2003), afirma que la tendencia es coherente con lo observado en el girasol confitero, donde se determinó que una humedad del 12% base seca optimiza el proceso de descascarillado.

CONCLUSIONES

El análisis del gráfico de Pareto indica que la temperatura de secado (40 °C, 50 °C y 60 °C) tiene un impacto mínimo en el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*). Además, los resultados del análisis de varianza (ANOVA) confirman que este factor es estadísticamente significativo, lo que indica que su influencia en el proceso no debe ser descartada.

El contenido de humedad inicial de los granos (10 %, 15 % y 20 %) emerge como el factor más relevante según el análisis del gráfico de Pareto. Como también, los resultados del ANOVA, que demuestran su significancia estadística, y su notabilidad en la práctica en el rendimiento del descascarillado.

Los parámetros óptimos identificados para maximizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú son: temperatura de secado de 40°C y contenido de humedad de 10 %. Bajo estas condiciones, se logró alcanzar un rendimiento de descascarillado del 73.3294%. Estos resultados permitieron cumplir al 100 % los objetivos establecidos en el estudio. Además, el análisis estadístico mediante ANOVA indica que las diferencias observadas son estadísticamente significativas, lo que refuerza la validez de estos hallazgos.

SUGERENCIAS

- Explorar cómo factores adicionales, como la duración del secado, la velocidad del aire o el calibre de los granos, pueden influir y combinarse con la humedad y la temperatura, permitiendo así una mejora más completa y eficiente del proceso.
- Llevar a cabo análisis sobre la duración útil del producto final, examinando de qué manera las condiciones óptimas de secado y descascarillado influyen en su conservación, calidad y estabilidad durante el periodo de almacenamiento.
- Incluir un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica de las condiciones óptimas identificadas. Esto puede ayudar a determinar si los beneficios de un mayor rendimiento justifican los costos adicionales asociados con las condiciones de secado y humedad.

Implementar estas sugerencias nos permitirá la vigilancia continua de la humedad y la temperatura a lo largo de todo el proceso, con el objetivo de detectar y corregir de inmediato cualquier variación, garantizando así que los resultados sean consistentes y se repitan de manera óptima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEAA, 2021. Compendio de documentos sobre el copoazú (*Theobroma grandiflorum*). [en línea]. [consulta: 22 agosto 2023]. Disponible en: <https://frutosamazonicos.org.bo/wp-content/uploads/2021/11/copoazu-guia.pdf>.
- AGROMARKET, 2023. Medidor de humedad Draminski Twist Grain & Coffee PRO. [en línea]. [consulta: 12 junio 2025]. Disponible en: <https://agromarket.pe/home/2332--medidor-de-humedad-draminski-twist-grain-coffee-pro.html>.
- BALENTIC, J.P., AČKAR, Đ., JOKIC, S., JOZINOVIC, A., BABIC, J., MILIČEVIC, B., UBARIC, D. y PAVLOVIC, N., 2018a. Cocoa Shell: A By-Product with Great Potential for Wide Application. *Molecules* 2018, Vol. 23, Page 1404 [en línea], vol. 23, no. 6, pp. 1404. [consulta: 1 junio 2025]. ISSN 1420-3049. DOI 10.3390/MOLECULES23061404. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/6/1404/htm>.
- BALENTIC, J.P., AČKAR, Đ., JOKIC, S., JOZINOVIC, A., BABIC, J., MILIČEVIC, B., UBARIC, D. y PAVLOVIC, N., 2018b. Cocoa Shell: A By-Product with Great Potential for Wide Application. *Molecules* 2018, Vol. 23, Page 1404 [en línea], vol. 23, no. 6, pp. 1404. [consulta: 1 junio 2025]. ISSN 1420-3049. DOI 10.3390/MOLECULES23061404. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/6/1404/htm>.
- BAÜMLER, E., RICCOBENE, I. y NOLASCO, S., 2003. Determinación de Algunas Propiedades Físicas y de la Aptitud al Descascarado del Grano de Girasol Confitero. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires* [en línea]. [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.asagir.org.ar/imagenes/archivos/murales/Baumler.PDF>.
- BEZERRA, M.A., SANTELLI, R.E., OLIVEIRA, E.P., VILLAR, L.S. y ESCALEIRA, L.A., 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta* [en línea], vol. 76, no. 5, pp. 965-977. [consulta: 10 junio 2025]. ISSN 0039-9140. DOI 10.1016/J.TALANTA.2008.05.019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914008004050?via%3Dihub>.
- BRACK EGG, Antonio., 1999. Diccionario enciclipedico de plantas útiles del Perú. [en línea], [consulta: 10 junio 2025]. Disponible en: <https://cbc.org.pe/producto/diccionario-enciclopedia-de-plantas-utiles-del-peru/>.
- CAJO, M.I. y DÍAZ, J.E., 2018. Determinación de los parámetros óptimos de tostado de la semilla de copoazu para la obtención de chocolate de copoazu – *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD* [en línea], [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/457>.

- CAMPOS, J., AGUAYO, M., MENDOZA, A., ACOSTA, A. y PAUCAR, L., 2021. Copoazú (*Theobroma grandiflorum*.): Botanical characterization, nutritional composition, antioxidant activity and bioactive compounds. *Agroindustrial Science*, vol. 11, no. 3, pp. 339-343. DOI 10.17268/agroind.sci.2021.03.11.
- CANDELA, M., 2025. Facebook. [en línea]. [consulta: 12 junio 2025]. Disponible en: <https://www.facebook.com/MetalicaCandela/photos/pb.100034449914955.-2207520000/1253982691467839/?type=3>.
- CRIOLLO, J., SANDOVAL, A.P. y MÉNDEZ, J.J., 2020. Vista de Efecto de la dinámica de tostado sobre las propiedades del licor de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng. Schum.). *Acta agronómica* [en línea]. [consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/87583/81852.
- CRONQUIST, Arthur., 1981. *An integrated system of classification of flowering plants*. S.I.: Bishen Singh Mahendra Pal Singh. ISBN 0231038801.
- DJIMTOINGAR, S.S., AGYEMANG, D.N.S., ATTA, K.F. y KUSI, Y.J., 2022. A review of response surface methodology for biogas process optimization. *Cogent Engineering* [en línea], vol. 9, no. 1, [consulta: 25 diciembre 2024]. ISSN 23311916. DOI 10.1080/23311916.2022.2115283. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23311916.2022.2115283>.
- FERNÁNDEZ, A. y PINEDO, E., 2006. Procesamiento de semillas de copoazú: *Theobroma grandiflorum* Schum. *Instituto Nacional de Innovación Agraria* [en línea], [consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: <https://pgc-snia.inia.gob.pe:8443/jspui/handle/inia/762>.
- FONTANGORDO, L., FERNÁNDEZ, J. y DEL REY, R., 2020. *Obtención de parámetros y modelos mecánicos de materiales mediante métodos resonantes*. Gandia: Universidad Politécnica de Valencia.
- GALEANO, P., LICETH, C.A. y SCHINELLA, G., 2012. Influencia del procesamiento del grano de copoazu (*Theobroma grandiflorum*), sobre la actividad antioxidante y el contenido fenolico. *Vitae* [en línea], vol. 19, pp. S285-S287. [consulta: 7 junio 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914087.pdf>.
- GALINDO, G.L. y GALINDO, J., 2022. Extracción y caracterización física, química, cromatográfica y espectrofotométrica de la manteca de copoazú (*Theobroma grandiflorum*), cultivado en la provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD* [en línea], [consulta: 24 diciembre 2024]. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6525788>.
- GARCÍA, E.M. y FERNÁNDEZ, I., 2012. Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. [en línea],

- [consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/16339>.
- GOOGLE, M., 2024. Mapas. [en línea]. [consulta: 25 diciembre 2024]. Disponible en: https://www.google.com/maps/@-12.6500242,-69.1699362,15z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTIxMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D.
- GOYAL, R.K., VISHWAKARMA, R.K. y WANJARI, O.D., 2009. Optimization of process parameters and mathematical modelling for dehulling of pigeonpea. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 36-41. ISSN 09505423. DOI 10.1111/j.1365-2621.2007.01630.x.
- HERNÁNDEZ, M., BARRERA, J., BARDALES, X. y CARRILLO, M., 2007. Manejo Y Transformación De Frutales Nativos De La Amazonia. *Revista Colombiana Amazónica* [en línea], pp. 191-204. [consulta: 24 diciembre 2024]. Disponible en: <https://sinchi.org.co/edicion-especial-revista-colombia-amazonica>.
- INACAL, 2021. Norma técnica que promueve estándares de calidad en la pulpa congelada de copoazú. [en línea]. [consulta: 23 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/523621-inacal-aprueba-norma-tecnica-que-promueve-estandares-de-calidad-en-la-pulpa-congelada-de-copoazu>.
- KIM, K.J. y LIN, D.K.J., 1998. Dual Response Surface Optimization: A Fuzzy Modeling Approach. *Journal of Quality Technology* [en línea], vol. 30, no. 1, pp. 1-10. [consulta: 25 diciembre 2024]. ISSN 00224065. DOI 10.1080/00224065.1998.11979814. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00224065.1998.11979814>.
- MEDRANO, A.S., 2010. Obtención de deshidratados de Borojó (*Borojoa patinoi*) y Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) mediante procesos térmicos de secado con aire forzado. [en línea], [consulta: 24 diciembre 2024]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2291>.
- MENESES, S.C., 2020. Estudio de mercado de frutas exóticas colombianas, caso copoazú *Theobroma grandiflorum* en San Francisco California. *Ciencia Univalle* [en línea], Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/>.
- MIDAGRI, M. de D.A. y R., 2020. Madre de Dios: Productores exportaron 15 toneladas de copoazú a Rusia - Noticias - Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - Plataforma del Estado Peruano. [en línea]. [consulta: 24 diciembre 2024]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/189603-madre-de-dios-productores-exportaron-15-toneladas-de-copoazu-a-rusia>.
- MOGROVEJO, D. y TORRES, E., 2020. Extracción de manteca de Copoazú (*Theobroma grandiflorum* [Willd. Ex Sprin.] K. Schum) por prensando hidráulico de semillas pre-tratadas enzimáticamente. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD* [en línea], [consulta: 4

- mayo 2023]. Disponible en:
<http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/604>.
- MOTTA MACHICADO, L.A., 2010. Competitividad y sostenibilidad de la agroindustria del copoazu (*Theobroma grandiflorum*) en Madre de Dios. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD* [en línea], [consulta: 7 junio 2025]. Disponible en:
<http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/58>.
- OKIYAMA, D.C.G., NAVARRO, S.L.B. y RODRIGUES, C.E.C., 2017. Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology* [en línea], vol. 63, pp. 103-112. [consulta: 1 junio 2025]. ISSN 0924-2244. DOI 10.1016/J.TIFS.2017.03.007. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416302540?via%3Dihub>.
- PALTRINIERI, G. y FIGUEROLA, F., 1997. *Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 26 diciembre 2024]. Disponible en:
<https://www.fao.org/4/x5029s/x5029s00.htm>.
- RAE, 2023. optimizar | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE. [en línea]. [consulta: 17 septiembre 2023]. Disponible en:
<https://dle.rae.es/optimizar>.
- RESTREPO, A.H. y BURBANO, J.C., 2005. Disponibilidad térmica solar y su aplicación en el secado de granos. *Scientia et Technica, ISSN 0122-1701, Vol. 1, Nº. 27, 2005, págs. 127-132* [en línea], vol. 1, no. 27, pp. 127-132. [consulta: 25 junio 2023]. ISSN 0122-1701. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4838419&info=resumen&idioma=ENG>.
- ROJAS, A.V. y VILLAGRA, J., 2016. Evaluación de los métodos de fermentación y secado para el beneficio de semilla del copoazu (*Theobroma grandiflorum*) y sus efectos en la calidad de pasta de chocolate natural en la provincia de Tambopata-M.D.D. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD* [en línea], [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en:
<http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/212>.
- ROJO, O., BARBOSA, L., ZEPPA, G. y STÉVIGNY, C., 2020. Cocoa Bean Shell—A By-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential. *Nutrients* [en línea], vol. 12, no. 4, pp. 1123. [consulta: 1 junio 2025]. ISSN 2072-6643. DOI 10.3390/NU12041123. Disponible en:
<https://www.mdpi.com/2072-6643/12/4/1123/htm>.
- ROMULI, S., KARAJ, S. y MÜLLER, J., 2017. Discrete element method simulation of the hulling process of *Jatropha curcas* L. fruits. *Biosystems Engineering*, vol. 155, pp. 55-67. ISSN 15375110. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2016.11.009.

- SHAHAMA, K., ANJALY, M.G., RAJESH, G.K., SNEHA, M., SANJAY, P., PALAKKEEL, A., NARAYANAN, A., SURESH, A. y NASRIN, J., 2023. Development and Performance Evaluation of a Cocoa Bean Sheller cum Winnower. *International Journal of Environment and Climate Change* [en línea], vol. 13, no. 4, pp. 56-63. [consulta: 8 junio 2025]. ISSN 2581-8627. DOI 10.9734/IJECC/2023/V13I41712. Disponible en: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/1712>.
- SILVA, H.K., 2019. *Influencia de la humedad y variedad del arroz en cáscara en el rendimiento molinero del grano* [en línea]. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. [consulta: 1 octubre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8553>.
- SOARES, T.F. y OLIVEIRA, M.B.P.P., 2022. Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules* 2022, Vol. 27, Page 1625 [en línea], vol. 27, no. 5, pp. 1625. [consulta: 1 junio 2025]. ISSN 1420-3049. DOI 10.3390/MOLECULES27051625. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/5/1625/htm>.
- TANG, L.C. y XU, K., 2002. A Unified Approach for Dual Response Surface Optimization. *Journal of Quality Technology* [en línea], vol. 34, no. 4, pp. 437-447. [consulta: 25 diciembre 2024]. ISSN 00224065. DOI 10.1080/00224065.2002.11980175. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00224065.2002.11980175>.
- TCA, T.D.C.A., 1999. *Manual técnico sobre cultivo y utilización del copoasu* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 22 mayo 2023]. vol. 1. Disponible en: <http://otca.org/wp-content/uploads/2021/02/Manual-Tecnico-sobre-Cultivo-y-Utilizacion-del-Copoasu.pdf>.
- UMANI, K.C., OLATUNJI, O.M., EKOP, I.E. y AKPAN, G.E., 2020. Experimental investigation of the effect of rotor speed of a horizontal shaft centrifugal palm nut cracker on optimum whole kernel production and shell particle size. *Scientific African*, vol. 7, pp. e00238. ISSN 2468-2276. DOI 10.1016/J.SCIAF.2019.E00238.
- VILALBA, F. de A., 2003. Fragmentação mecânica de amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) por meio de um beneficiador de cilindros. . S.l.:
- VILALBA, F. de A., MARSAIOLI, A. y PEZOA, N.H., 2004. Fragmentação mecânica de amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). *Food Science and Technology* [en línea], vol. 24, no. 3, pp. 419-426. [consulta: 24 diciembre 2024]. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/S0101-20612004000300021. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cta/a/hwTM9cZBTQGNHCcrYGnxvQB/?lang=pt>.
- YANG, S., WANG, J., TU, Y., HAN, Y., REN, X., DING, C. y CHEN, X., 2023. Robust multi-response surface optimisation based on Bayesian quantile model. *International Journal of Production Research* [en línea], vol. 61, no. 10, pp. 3260-3278. [consulta: 25 diciembre 2024]. ISSN 1366588X.

DOI 10.1080/00207543.2022.2079014. Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2022.2079014>.

YOLMEH, M. y JAFARI, S.M., 2017. Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes. *Food and Bioprocess Technology* 2017 10:3 [en línea], vol. 10, no. 3, pp. 413-433. [consulta: 25 diciembre 2024]. ISSN 1935-5149. DOI 10.1007/S11947-016-1855-2. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-016-1855-2>.

ZHAO, Z., XU, L., GAO, J., XI, L., RUAN, Q. y LI, Y., 2022. Multi-Objective Optimization of Parameters of Channels with Staggered Frustum of a Cone Based on Response Surface Methodology. *Energies* 2022, Vol. 15, Page 1240 [en línea], vol. 15, no. 3, pp. 1240. [consulta: 25 diciembre 2024]. ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/EN15031240. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/1240/htm>.

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Variable independiente Parámetros del proceso de descascarillado	Secado de granos de Copoazú	Temperatura en grados Celsius	40°C 50°C 60°C
	Contenido de humedad en los granos de Copoazú	Porcentaje de humedad en los granos de Copoazú	10% 15% 20%
Variable dependiente Rendimiento del descascarillado	Rendimiento del descascarillado de los granos de Copoazú	Porcentaje de nibs pelado	%

ANEXO 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>)				
Nombres de los Tesistas: Bach. QUILLA ABARCA, Rocío Pamela; Bach. CONTO CHUCO, Sergio Abel				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES/INDICADORES	METODOLOGÍA
General: ¿Cuáles son los parámetros para optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>)?	General: Determinar los parámetros para optimizar el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>) Específicos: Analizar el efecto de la temperatura de secado (40°C, 50°C y 60°C) en la eficiencia del descascarillado de los granos de copoazú.	Nula: El secado a diferentes temperaturas y el contenido de humedad inicial optimizan significativamente el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>).	Variable independiente: Parámetros del proceso de descascarillado Dimensiones: - Proceso de secado de los granos de copoazú - Contenido de humedad inicial Indicadores: - Temperatura de secado (°C) - Contenido de humedad inicial	El proceso inicia con la recolección y clasificación de los granos frescos de copoazú, asegurando que estén libres de impurezas. Posteriormente, se realiza el secado a temperaturas específicas, ajustando el contenido de humedad. Las

	Evaluar la influencia del contenido de humedad (10%, 15% y 20%) en el rendimiento del descascarillado. Determinar la combinación óptima de parámetros (temperatura y humedad) que maximice la proporción de granos enteros recuperados	ALTERNA: El secado a diferentes temperaturas y el contenido de humedad inicial no tienen un efecto significativo en el rendimiento del descascarillado de los granos de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Variable dependiente: - Rendimiento del descascarillado Dimensiones: - Pérdidas por fragmentación. Indicadores: - Resultado medido en %	muestras secadas son procesadas en la máquina descascarilladora, donde se separa la cáscara del grano. Finalmente, se evalúa el rendimiento del descascarillado mediante análisis gravimétricos
--	--	--	---	--

ANEXO 03: FOTOGRAFIAS



Figura 9: Tratamiento 1(A)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 10: Tratamiento 2(B)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 11: Tratamiento 3(C)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 12: Tratamiento 4(D)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 13: Tratamiento 5(E)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 14: Tratamiento 6(F)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 15: Tratamiento 7(G)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 16: Tratamiento 5(H)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 17: Tratamiento 9(I)

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 18: Pesado de las Muestras

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 19: Higrómetro analógico

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 20: Higrómetro Digital

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 21: Estufa marca Durocell

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 22: Secado de los granos de copoazu en la estufa

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 23: Muestras listas para el descascarillado

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 24: Descascarillado de los granos de copoazu

Fuente: Elaboración propia (2024).