

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EFECTO DEL TOSTADO AL VACÍO SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS GRANOS DE
COPOAZÚ (*Theobroma grandiflorum*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESTELA ROSA CHABELI AYROS ALVERDI

LIMA – PERÚ

2024

“EFECTO DEL TOSTADO AL VACÍO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ (*Theobroma grandiflorum*)”

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|---|---------------------|
| 20% | 19% | 11% | 9% | ✓ | G. Chire Asesora |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE | | 11/12/2023 |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|-----|
| 1 | repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 2 | tel.archives-ouvertes.fr Fuente de Internet | <1% |
| 3 | investigaciones.uniatlantico.edu.co Fuente de Internet | <1% |
| 4 | Jun Mei, Fei Feng, Yunfei Li. " Effective of different homogeneous methods on physicochemical, textural and sensory characteristics of soybean (L.) yogurt ", CyTA - Journal of Food, 2016 Publicación | <1% |
| 5 | tesis.ipn.mx Fuente de Internet | <1% |
| 6 | Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad de Caldas Trabajo del estudiante | <1% |

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“EFECTO DEL TOSTADO AL VACÍO SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS GRANOS DE
COPOAZÚ (*Theobroma grandiflorum*)”**

Presentado por:

ESTELA ROSA CHABELI AYROS ALVERDI

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Ana C. Aguilar Gálvez
PRESIDENTE

Miriam E. Ramos Ramírez, PhD.
MIEMBRO

Mg.Sc. Diana M. Nolazco Cama
MIEMBRO

Gabriela C. Chire Fajardo, PhD.
ASESOR

Dr. Milber O. Ureña Peralta
CO-ASESOR

Lima – Perú

2024

DEDICATORIA

A mi padre, Claudio José Ayros Faustino, por ser mi guía, motivación, apoyo a ser una mejor persona y profesional cada día, a la distancia me acompaña. Te quiero mucho papá.

Siempre estás en nuestros corazones.

A mi madre, Blanca Estela Alverdi Herrera, por todas las veces que me acompañó en mis amanecidas desde la academia hasta la realización de la tesis. Te admiro mucho por luchar contra todas las adversidades que la vida te presenta, inspirarnos y enseñarnos a ser valientes. Siempre estaré para ti y te quiero mucho.

A mis hermanos Claudia Ayros Alverdi y Jonathan Ayros Alverdi por siempre protegerme y quererme mucho. Son mi fuente de inspiración y apoyo en cada momento.

A Rosario López Herrera por ser mi amiga y tía que siempre me aconseja, por cada momento en el que estuvo y estará.

A mis compañeros, Moka y Mushi, que me acompañan en todo momento y a mis ángeles en el cielo, Chanchito y Effy, que siempre los recuerdo con mucho cariño y los tengo en mi corazón.

A mí, por siempre irradiar las mejores vibras hacia la vida y no rendirme ante cada prueba que se presente. A no perder mi esencia y seguir sonriéndole a la vida.

Vive tus sueños, no sueñes tu vida.

Für die Träume, die mir noch fehlen und die ich weiterhin aufbaue, ist diese Dissertation meine Motivation, um sie zu erreichen. Gut Ding will Weile haben!.

AGRADECIMIENTO

- A Dios por brindarme la oportunidad de seguir, darme salud y acompañarme en las metas que tengo en la vida.
- A mis padres, los llevo siempre en mi corazón por ser mis apoyos principales en mi vida y a quienes quiero mucho.
- A mis asesores PhD. Gabriela Chire Fajardo y Dr. Milber Ureña Peralta por su paciencia, enseñanzas, sugerencias, apoyo incondicional y por haber depositado su confianza en mí para el desarrollo de la presente investigación.
- A mi querida Universidad Nacional Agraria La Molina, donde pasé cinco años y se convirtió en mi segundo hogar, donde no solo forjé mi camino como profesional, sino también como persona. Aquí encontré más que conocimientos académicos; encontré amistades que han sido pilares en mi vida y momentos que quedarán grabados en lo más profundo de mi corazón.
- A mis queridas amigas, Siulli Picón y Sthefany Otero, quienes representan el verdadero significado de la amistad y que, a pesar de la distancia física, continúan siendo mi apoyo inquebrantable en cada paso de mi vida.
- A mis amigos de colegio, academia, universidad y todas aquellas personas que me aportaron ánimos a continuar con la investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

| | | |
|------------|--|----------|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. | GENERALIDADES DEL COPOAZÚ (<i>THEOBROMA GRANDIFLORUM</i>)..... | 3 |
| 2.1.1. | ORIGEN..... | 3 |
| 2.1.2. | NOMBRES CIENTÍFICOS Y COMUNES | 4 |
| 2.1.3. | CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA..... | 4 |
| 2.1.4. | CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS | 4 |
| 2.1.5. | VARIETADES DE COPOAZÚ..... | 5 |
| 2.1.6. | GRANO DE COPOAZÚ FERMENTADO Y SECO | 6 |
| 2.2. | PRODUCCIÓN DE COPOAZÚ EN EL PERÚ | 8 |
| 2.3. | CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL GRANO DE COPOAZÚ FERMENTADO Y SECO..... | 9 |
| 2.3.1. | HUMEDAD..... | 9 |
| 2.3.2. | COLOR (ÍNDICE DE BLANCURA)..... | 10 |
| 2.3.3. | ACIDEZ TITULABLE..... | 12 |
| 2.3.4. | pH..... | 12 |
| 2.3.5. | POLIFENOLES | 13 |
| 2.3.6. | CAPACIDAD ANTIOXIDANTE..... | 15 |
| 2.3.7. | CATEQUINA | 16 |
| 2.4. | CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS DEL COPOAZÚ..... | 17 |
| 2.5. | CAMBIOS FÍSICOQUÍMICOS DURANTE EL TOSTADO | 18 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.6. | ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LA PASTA DE COPOAZÚ | 21 |
| III. | METODOLOGÍA..... | 22 |
| 3.1. | LUGAR DE EJECUCIÓN | 22 |
| 3.2. | MATERIA PRIMA | 22 |
| 3.3. | MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS | 22 |
| 3.3.1. | MATERIALES..... | 22 |
| 3.3.2. | EQUIPOS..... | 23 |
| 3.3.3. | REACTIVOS..... | 23 |
| 3.4. | MÉTODO DE ANÁLISIS | 24 |
| 3.4.1. | ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO..... | 24 |
| 3.4.2. | ANÁLISIS FÍSICO | 24 |
| 3.4.3. | ANÁLISIS QUÍMICOS..... | 26 |
| 3.4.4. | DETERMINACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LA PASTA DE COPOAZÚ | 32 |
| 3.5. | METODOLOGÍA EXPERIMENTAL..... | 33 |
| 3.5.1. | ANÁLISIS AL GRANO DE COPOAZÚ FERMENTADO Y SECO | 33 |
| 3.5.2. | ANÁLISIS DESPUÉS DEL TOSTADO | 34 |
| 3.6. | DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 34 |
| 3.7. | ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 34 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 36 |
| 4.1. | CARACTERIZACIÓN DE LOS GRANOS FERMENTADOS Y SECOS DE COPOAZÚ..... | 36 |
| 4.1.1. | ANÁLISIS PROXIMAL..... | 41 |
| 4.2. | TOSTADO DE GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 44 |
| 4.2.1. | HUMEDAD..... | 44 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.2.2. | COLOR (ÍNDICE DE BLANCURA)..... | 48 |
| 4.2.3. | ACIDEZ TITULABLE..... | 52 |
| 4.2.4. | pH..... | 55 |
| 4.2.5. | POLIFENOLES | 59 |
| 4.2.6. | CAPACIDAD ANTIOXIDANTE..... | 61 |
| 4.2.7. | CATEQUINA | 63 |
| 4.3. | ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LA PASTA DE COPOAZÚ | 67 |
| V. | CONCLUSIONES | 70 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 72 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA | 73 |
| VIII. | ANEXOS..... | 98 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Valor nutricional del grano de copoazú fermentado y seco (% en base seca) | 8 |
| Tabla 2: Producción de copoazú en Perú durante el periodo de 2015 al 2022..... | 9 |
| Tabla 3: Polifenoles extraíbles de diferentes especies del género <i>Theobroma</i> | 14 |
| Tabla 4: Características de los granos fermentados y secos de copoazú | 36 |
| Tabla 5: Análisis proximal de los granos de copoazú fermentados y secos..... | 41 |
| Tabla 6: Porcentaje de humedad de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento..... | 44 |
| Tabla 7: Índice de blancura de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento | 49 |
| Tabla 8: Promedio de la Acidez titulable de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento..... | 52 |
| Tabla 9: pH de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento..... | 56 |
| Tabla 10: polifenoles de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento..... | 59 |
| Tabla 11: Coeficiente de inhibición (IC ₅₀) de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento..... | 61 |
| Tabla 12: Contenido de catequina de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento..... | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Representación gráfica de las variedades de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>) | 6 |
| Figura 2: Corte longitudinal de la semilla de Copoazú fermentada | 7 |
| Figura 3: Comparación entre procesos de fermentación adecuada, insuficiente y deficiente (A, B y C, respectivamente)..... | 11 |
| Figura 4: Escala hedónica lineal no estructurada..... | 32 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 98 |
| ANEXO 2: PESO DE 100 GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 98 |
| ANEXO 3: ANÁLISIS PROXIMAL Y CÁLCULO DE KILOCALORÍAS EN BASE HÚMEDA Y SECA DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS .. | 99 |
| ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADOS DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 100 |
| ANEXO 5: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 101 |
| ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE BLANCURA DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 103 |
| ANEXO 7: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL ÍNDICE DE BLANCURA DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 104 |
| ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ACIDEZ TITULABLE DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 106 |
| ANEXO 9: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL PORCENTAJE DE ACIDEZ (% ÁCIDO ACÉTICO) DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 107 |
| ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA DE pH DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 109 |
| ANEXO 11: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL pH DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 110 |
| ANEXO 12: DETERMINACIÓN DE LOS POLIFENOLES EXTRAÍBLES POR TRATAMIENTO REALIZADO A LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 112 |

| | |
|--|-----|
| ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS POLIFENOLES DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 113 |
| ANEXO 14: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA LOS POLIFENOLES DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 114 |
| ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 116 |
| ANEXO 16: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 117 |
| ANEXO 17: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CATEQUINAS POR TRATAMIENTO REALIZADO A LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 119 |
| ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CATEQUINA DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS..... | 120 |
| ANEXO 19: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS DEL CONTENIDO DE CATEQUINA DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS | 121 |
| ANEXO 20: DATOS DE EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL PARA LA PASTA DE COPOAZÚ | 123 |

RESUMEN

El copoazú, fruto tropical con gran potencial económico de Madre de Dios, se plantea como una alternativa al cacao. Esta elección busca preservar la biodiversidad y conservar los bosques. Actualmente, no hay procedimientos estandarizados de tostado para los granos de copoazú ya que sus propiedades funcionales, reológicas, térmicas y físico - químicas no están homogeneizados. El propósito de la investigación fue evaluar el efecto del tostado a presión de vacío y atmosférica (20 y 100 kPa) a temperaturas de 95 y 115 °C en el porcentaje de humedad, color (índice de blancura), porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante y catequina en los granos fermentados y secos de copoazú de la región de Madre de Dios. Se utilizaron los métodos analíticos de AOAC (2016), aceptabilidad sensorial y para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico Statgraphic® Centurion. En la investigación, se examinaron los efectos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) de la presión, temperatura y su interacción en diversos atributos de los granos de copoazú fermentados y secos. Estos atributos incluyeron el porcentaje de humedad, porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante y catequina. Aunque la presión, temperatura o su combinación no influyeron significativamente ($p < 0,05$) en el índice de blancura, se observó que el tratamiento a 115 °C y 20 kPa resultó el mejor tratamiento. Este tratamiento minimizó el efecto en la capacidad antioxidante, preservando un mayor porcentaje de catequinas y los polifenoles después del tostado. Además, la prueba de aceptabilidad sensorial para este tratamiento obtuvo una puntuación de 6,63 sobre 10 puntos. En conclusión, se evidencian efectos del tostado al vacío en algunas características físicas y químicas de los granos de copoazú.

Palabras claves: Copoazú, tostado atmosférico, tostado al vacío, capacidad antioxidante, DPPH, catequina.

ABSTRACT

The copoazú, a tropical fruit with great economic potential in Madre de Dios, is proposed as an alternative to cocoa. This choice aims to preserve biodiversity and conserve forests. Currently, there are no standardized roasting procedures for copoazú beans since their functional, rheological, thermal, and physicochemical properties are not homogenized. The purpose of the research was to evaluate the effect of vacuum and atmospheric pressure roasting (20 and 100 kPa) at temperatures of 95 and 115 °C on moisture percentage, colour (whiteness index), titratable acidity percentage, pH, polyphenols, antioxidant capacity, and catechin in fermented and dried copoazú beans from the Madre de Dios region. Analytical methods of AOAC (2016), sensory acceptability, and Statgraphic® Centurion statistical software were used for data analysis. In the research, statistically significant effects ($p < 0.05$) of pressure, temperature, and their interaction on various attributes of fermented and dried copoazú beans were examined. These attributes included moisture percentage, titratable acidity percentage, pH, polyphenols, antioxidant capacity, and catechin. Although pressure, temperature, or their combination did not significantly influence ($p < 0.05$) the whiteness index, it was observed that treatment at 115°C and 20 kPa resulted in the best treatment. This treatment minimized the effect on antioxidant capacity, preserving a higher percentage of catechins and polyphenols after roasting. Additionally, the sensory acceptability test for this treatment scored 6.63 out of 10 points. In conclusion, vacuum roasting effects on some physical and chemical characteristics of copoazú beans are evident.

Keywords: Copoazú, atmospheric roasting, vacuum roasting, antioxidant capacity, DPPH, catechin.

I. INTRODUCCIÓN

El (*Theobroma grandiflorum*), una fruta tropical con alto potencial económico ha motivado la búsqueda de ampliar su presencia en los mercados. Implicando la necesidad de redefinir objetivos y métodos de trabajo para que pueda competir eficazmente a nivel mundial. En este contexto, se están estableciendo normas y requisitos de calidad que los mercados actuales demandan, planteando así un desafío significativo para la nueva generación de agroexportación, como señala Sánchez (2006).

El departamento de Madre de Dios, con una biodiversidad excepcional en Perú, cuenta con recursos naturales de calidad y gran potencial para la agroindustria. Destacando entre ellos, el copoazú, un fruto tropical con notables propiedades nutricionales y características organolépticas (Motta, 2010). A pesar de la pandemia, el Perú continuó exportando 25 toneladas de copoazú a Rusia, destinadas a la producción de chocolatería fina (Andina, 2021). Desde el 2021, el Gobierno Regional de Madre de Dios, a través de un equipo técnico, ha brindado capacitaciones a los productores de este emblemático fruto regional, con el objetivo de ampliar sus conocimientos y fomentar la comercialización de los granos de copoazú (PEMD, 2021).

El impulso hacia estándares de calidad en la cadena productiva del copoazú en Perú se evidenció con la aprobación de los requisitos por parte del Instituto Nacional de Calidad, especificados en la Norma Técnica Peruana 012.901:2021 Copoazú. Esta aprobación marca el inicio de una fase de investigación y estandarización para este fruto amazónico. De manera simultánea, el Instituto Tecnológico de la Producción inauguró la primera planta procesadora en la provincia de Tambopata, Madre de Dios (Agroperú, 2022). Este proyecto de investigación no solo contribuirá a la valorización del copoazú, que se proyecta como producto insignia de la región debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados y su potencial uso en diversos productos (Gálvez, 2020).

Además de lo anterior, la determinación de la influencia del tostado al vacío en los granos de copoazú permitirá evaluar las condiciones óptimas para su uso por agricultores o emprendimientos vinculados al fruto. En conjunto, estos esfuerzos indican una dirección hacia la consolidación y reconocimiento del copoazú como un elemento clave en la industria regional y nacional.

El actual proceso de tostado para los granos de copoazú carece de estandarización, ya que, según Pérez (2015), sus propiedades funcionales, físico - químicas, reológicas, térmicas y bioactivas no están homogeneizadas. Dado que el tostado se considera la operación tecnológica más importante en la obtención de derivados del copoazú (Krysiak, 2006), se buscó una alternativa al proceso convencional. En este sentido, se optó por el tostado al vacío, que implica el uso de temperaturas más bajas y presiones inferiores a la atmosférica. La investigación se centró en la determinación del efecto del tostado al vacío en los granos de copoazú fermentados y secos provenientes de Madre de Dios, particularmente en sus características físicas y químicas. En última instancia, se llevó a cabo una comparación con el tostado a presión atmosférica del grano. Esta aproximación no solo apunta a mejorar la homogeneidad de las propiedades del copoazú, sino también a optimizar el proceso de tostado, explorando una alternativa que podría tener impactos significativos en la calidad final del producto. Por último, la investigación tuvo como objetivos específicos:

- Caracterizar los granos fermentados y secos de copoazú: dimensiones de grano, índice de grano, porosidad, porcentaje de testa, análisis proximal y calorías.
- Evaluar el efecto del tostado a presión atmosférica y de vacío en el porcentaje de humedad, color (índice de blancura), porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante y catequina en granos fermentados y secos de copoazú de Madre de Dios.
- Determinar la aceptabilidad sensorial de la pasta de copoazú del mejor tratamiento de tostado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES DEL COPOAZÚ (*Theobroma grandiflorum*)

2.1.1. ORIGEN

El género *Theobroma*, con un origen neotropical, se distribuye en los bosques tropicales húmedos del hemisferio occidental, desde el Amazonas hasta el sur de México. Este género se caracteriza por su presencia en la Amazonia, abarcando países como Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Hernández y Barrera, 2004). Entre las especies más relevantes desde el punto de vista comercial se encuentran: *Theobroma grandiflorum*, *Theobroma subincanum*, *Theobroma bicolor* y *Theobroma cacao* (Zhang *et al.*, 2009). Diversas especies del género *Theobroma* desempeñan un papel crucial tanto en la preservación de la biodiversidad como en el desarrollo económico de los ecosistemas tropicales.

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es originario de la Amazonia brasileña, se encuentra generalmente en montes de tierra firme y zonas situadas a mayor altitud que solo se inunda en épocas de crecidas de los ríos. En el Perú se encuentran en áreas cultivadas de las regiones de Madre de Dios y Loreto. En las provincias de Tambopata y Tahuamanu se encuentra el 95 por ciento de las áreas de copoazú cosechadas en Madre de Dios (Balarezo y Villegas, 2019).

En las últimas décadas, se ha perdido parte de la biodiversidad, manifestándose especialmente en la reducción de la cobertura arbórea y la intensificación del manejo del cacao. Esta tendencia ha tenido consecuencias negativas para los ecosistemas, destacando la importancia de explorar alternativas sostenibles. El aumento de cultivos de copoazú es una alternativa sostenible para la reforestación de diversas zonas de la Amazonía peruana (Saj *et al.*, 2017).

2.1.2. NOMBRES CIENTÍFICOS Y COMUNES

Los nombres científicos utilizados para el copoazú son: *Theobroma grandiflorum*, *Bubroma grandiflorum*, *Theobroma macrantha*, *Theobroma silvestre* y *Guazuma grandiflorum* (Godoy, 2014). Se han identificados diversos nombres para el copoazú dependiendo el país (Godoy, 2014; BIOPAT, 2019).

2.1.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

El género *Theobroma*, está compuesto por un total de 22 especies, se destaca económicamente por dos de sus representantes principales: *Theobroma cacao* y *Theobroma grandiflorum* (Pugliese *et al.*, 2013). El copoazú, al pertenecer al mismo género que el cacao, comparten diversas propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Cunha *et al.*, 2021). Según Varón *et al.* (2015) la clasificación taxonómica específica del copoazú abarca el reino *Plantae*, la división *Fanerógamas*, la clase *Magnoliopsidae*, el orden *Malvales*, la familia *Sterculiaceae*, el género *Theobroma* y la especie *Grandiflorum*.

2.1.4. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

El árbol de copoazú es de tipo leñoso, arbóreo y como cultivo alcanza una altura entre los 4 a 8 metros. Sin embargo, en un ciclo perenne puede llegar alcanzar una altura de 20 metros. La producción de frutos dependerá del tiempo que tenga los árboles, por ejemplo, de 4 a 5 años producirá 20 a 30 frutos y un árbol maduro dará de 60 a 70 frutos (Varón *et al.*, 2015). Entre el 0,16 al 1,08 por ciento de las flores se transforman en frutos maduros, dependiendo de la cantidad adecuada de polen que reciben durante la polinización. La cosecha del copoazú se realiza 140 días después de la floración y al ser un fruto no climatérico no presenta cambios visibles en la coloración externa de la cáscara que indiquen un grado máximo de maduración (Medrano, 2010). Este fruto nativo de la Amazonía, el copoazú, muestra variaciones en su composición según distintas fuentes. Según Sánchez (2006), presenta un 40 por ciento de pulpa, 42 por ciento cáscaras y 18 por ciento de granos. A diferencia del cacao, la pulpa del copoazú con respecto a los granos está en relación de 2 a 1, lo cual proporciona ventajas para su explotación agroindustrial (Santander *et al.*, 2019).

La pulpa de copoazú es comestible con color blanco - amarillo, sabor ácido, cremosa y con un sabor característico similar al del grano de cacao. Según Rojas y Villagra (2016) la pulpa de copoazú constituye la parte del fruto con mayor valor económico ya que tiene un alto contenido de vitamina C, calcio, fósforo y hierro. Sin embargo, es escaso en proteínas, carbohidratos y lípidos. Las afirmaciones anteriores sugieren que el copoazú es un fruto rentable ya que se puede emplear en su totalidad para la elaboración de jugos, néctares, mermelada y confitería (Pérez, 2015).

Según Cumana y Rondón (2005) el fruto contiene entre 20 a 50 granos en una posición superpuesta en hileras verticales. Los granos de copoazú presentan una morfología elíptica-aplanada, la cual contrasta con la de los granos de cacao. Además, se ha señalado que los granos de copoazú presentan un grosor mayor, lo que incide en la duración necesaria para su fermentación y en la cantidad de pulpa que debe ser removida durante este proceso (Sánchez, 2006).

2.1.5. VARIETADES DE COPOAZÚ

Melgarejo *et al.* (2006) identificaron tres grupos de variedades de copoazú, clasificadas según características relacionadas con su perfil, cáscara y presencia con semillas (Figura 1). La primera variedad Mamu, destaca por la ausencia de semillas y extremos ligeramente puntiagudos, con un peso aproximadamente de 1,5 Kg. La segunda variedad, se denomina Mamorama, presenta el fruto más grande en comparación de otras variedades con extremos ligeramente puntiagudos.

Su cáscara mide de 7 a 9 mm y su peso oscila entre 2,5 a 4 Kg (Pérez, 2015). Es la variedad más cultivada en la región de Madre de Dios en Perú (Villagra *et al.*, 2022). Por último, la variedad Redondo se caracteriza por tener extremos redondeados y es más abundante en la Amazonia Brasileña. Su cáscara mide de 6 a 7 mm de espesor, y el peso del fruto alcanza los 1,5 Kg

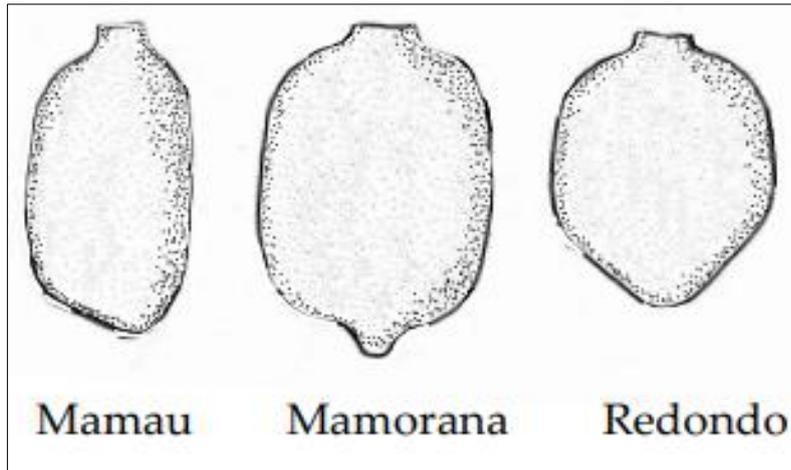


Figura 1: Representación gráfica de las variedades de copoazú (*Theobroma grandiflorum*)

FUENTE: Jean-Marie *et al.* (2022)

2.1.6. GRANO DE COPOAZÚ FERMENTADO Y SECO

El beneficio es un proceso que consta de las etapas de cosecha, quiebra, fermentación y secado para la obtención de granos fermentados y secos de mejor calidad (Chávez *et al.*, 2004). Las operaciones unitarias críticas del beneficio del copoazú son la fermentación y secado, ya que en la primera ocurren reacciones bioquímicas que resultan en la reducción del amargor y la astringencia, dando origen a los precursores del sabor presentes en los productos derivados. En el secado, se reduce la humedad, lo que facilita el almacenamiento y evitando el desarrollo de microorganismos indeseados. Durante el tostado, la testa se desprende debido al calor, y posteriormente, el cotiledón se tritura, los cuales se utilizan en la preparación de *cupulate* en polvo o en tabletas, como describen Cohen y Jackix (2005). Este proceso refleja la importancia de cada etapa en la obtención de productos de calidad y resalta la versatilidad del uso de los granos de copoazú en la industria chocolatera. Los granos de copoazú se usan para la elaboración de *cupulate*, un producto similar al chocolate en sus propiedades nutritivas, elaboración y características sensoriales (Cajo y Díaz, 2017). La composición física de los granos de copoazú, según Vilalba (2003), se distribuye en un 71,54% de cotiledón, 27,81% de testa y 0,65% de germen, como se muestra en la Figura 2.

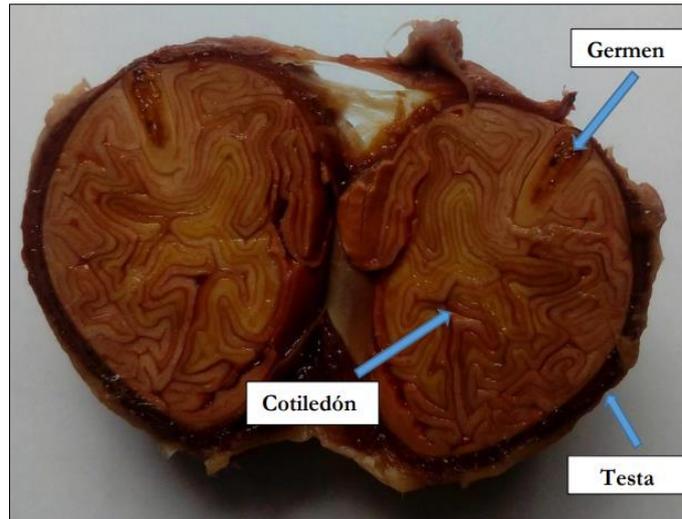


Figura 2: Corte longitudinal de la semilla de Copoazú fermentada

FUENTE: Cajo y Díaz (2017)

Las características físicas de los granos de copoazú, según Cajo y Díaz (2017), incluyen un largo de 26,98 mm, ancho de 22,29 mm, espesor de 11,71 mm, peso promedio de 5,84 g y un volumen de 5,89 cm³. Además, Rojas y Villagra (2016), determinaron valores para los granos de copoazú provenientes de la región de Madre de Dios para el peso promedio (g), largo (mm) y espesor (mm) de $6,65 \pm 0,63$; $27,20 \pm 0,21$ y $11,50 \pm 0,05$, respectivamente.

Una característica importante de los granos de copoazú es el alto contenido de grasa (62 por ciento aproximadamente) incluidos los ácidos grasos oleico, araquidónico, palmítico y esteárico. Según Maceda y Dea (2019) los granos son esencialmente oleaginosas con un contenido de grasas superior al 50 por ciento, valor que coincide con el propuesto en la Tabla 1. Según Alviárez *et al.* (2016) la grasa de los granos fermentados y secos de copoazú contiene 69,3 por ciento de ácidos grasos saturados y 30,7 por ciento de ácidos grasos insaturados. Los granos fermentados y secos del cacao en comparación del copoazú contienen un menor porcentaje de ácidos grasos saturados y mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados con valores de 41,34 y 58,66 respectivamente (Lares *et al.*, 2013).

Por lo general, los granos de copoazú se descartan a pesar de tener un gran valor nutricional debido a que las condiciones de su procesamiento no han sido estudiadas con mayor profundidad (Cunha *et al.*, 2021). Por último, en la Tabla 1 se presenta el valor nutricional del grano de copoazú fermentado y seco.

Tabla 1: Valor nutricional del grano de copoazú fermentado y seco (% en base seca)

| Componente | Valor (%) |
|-----------------------|------------------|
| Humedad | 23,34 |
| Proteína | 17,24 |
| Grasa | 57,22 |
| Ceniza | 3,85 |
| Carbohidratos totales | 20,07 |

FUENTE: Sánchez (2006), Hernández y Barrera (2004)

2.2. PRODUCCIÓN DE COPOAZÚ EN EL PERÚ

El copoazú en toda la región amazónica tiene una distribución considerable y es una opción para los pobladores que habitan en el área para poder producirlo y venderlo sin dañar el medio ambiente (Mantilla, 2022). El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) incorporó plantas de copoazú en su programa de restauración de hectáreas de bosques en la Amazonia Colombiana y en el Perú también se está incorporando esta alternativa para reforestar el “pulmón del mundo” (Andina, 2022). Actualmente la producción de copoazú en el Perú abarca áreas en las regiones amazónicas de Ucayali, Loreto y principalmente en Madre de Dios (Rojas y Villagra, 2016). El principal problema que enfrenta los productores en el Perú está relacionado con un deficiente manejo agronómico por lo que genera una pérdida por selección de frutos en el campo de un 20 por ciento (AGROIDEAS, 2020).

En la Tabla 2 se presenta la producción de copoazú en la región de Madre de Dios. Este análisis refleja la relevancia creciente del copoazú como una opción agroforestal viable en la región, destacando la necesidad de mejorar las prácticas de manejo agronómico para maximizar su potencial productivo y ambiental.

Tabla 2: Producción de copoazú en Perú durante el periodo de 2015 al 2022

| Años | Producción (toneladas) |
|-------------|-------------------------------|
| 2015 | 437,90 |
| 2016 | 465,50 |
| 2017 | 524,35 |
| 2018 | 573,00 |
| 2019 | 716,25 |
| 2020 | 895,31 |
| 2021 | 1119,14 |
| 2022 | 1398,93 |

FUENTE: Dirección Regional de Agricultura Madre de Dios (2022)

2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL GRANO DE COPOAZÚ FERMENTADO Y SECO.

2.3.1. HUMEDAD

Durante la fermentación según Lemus *et al.* (2001) se produce la descomposición microbiana de la pulpa que genera el desprendimiento de jugos, ruptura de las células y la eliminación de parte del agua en el exudado. El objetivo del exudado es establecer un equilibrio osmótico entre la pulpa y los cotiledones a través de la difusión de los productos de la fermentación desde la testa hacia el cotiledón (Portillo *et al.*, 2005). El interior del grano va aumentando el porcentaje de humedad y ácido acético (Melgarejo *et al.*, 2006). En el secado, etapa posterior de la fermentación, se reduce el exceso de humedad por calentamiento de los granos y así evitar el desarrollo de microorganismos que deterioran la calidad (Nogales *et al.*, 2006). Durante el secado se continúa el proceso oxidativo de la fermentación para disminuir la astringencia, acidez, amargor de los granos. En el Perú, el secado solar es el más usado para los granos de copoazú ya que se aprovecha la temperatura ambiente de la zona de cosecha y se caracteriza por usar los mismos cajones en los cuales ocurrió la fermentación, pero cubiertos con un plástico grueso (Rojas y Villagra, 2016).

Este método depende de la temperatura de la zona de cosecha, humedad relativa del aire y número de días de secado por lo cual se generan granos de copoazú con humedades no homogéneas entre lotes de la misma cosecha (Bertorelli *et al.*, 2004). Al término del secado los granos de copoazú tienen un porcentaje de humedad inferior al 8 por ciento (Rojas y Villagra, 2016).

La humedad con la que ingresa el grano (cantidad de agua por cada 100 g de granos de copoazú) al tostador influirá en la temperatura y tiempo de tostado, se puede estimar por medio de una curva de tiempo de tostado el tiempo que se debe tostar con relación a la humedad inicial del grano a una determinada temperatura (Plúa y Cornejo, 2008). La deficiencia de agua y nutrientes ocasionan que los granos no alcancen su tamaño normal y posterior afectar el tostado (Cross, 2004). Al finalizar el proceso de tostado de los granos de copoazú fermentados y secos se obtendrá un 2,5 por ciento de humedad (Aldave, 2016).

2.3.2. COLOR (ÍNDICE DE BLANCURA)

El color es el resultado de la evaluación de una magnitud física (energía radiante) en términos de una relación visual (psicológico) y está basado en las propiedades fisiológicas del ojo humano. Este atributo es el primero que se juzga en un alimento y puede alterar la percepción del consumidor de manera favorable o no (Retting y Hen, 2014). En algunos alimentos el color puede determinar su cualidad de comestible, identidad o la intensidad del sabor de un alimento (Badui, 2006). Silva y Silva (2000) indican que la cinética de cambio de color ayuda a establecer condiciones óptimas de procesamiento térmico para garantizar un producto final de calidad.

El desarrollo del color distintivo en el género *Theobroma*, según Jiménez *et al.* (2017), se produce a través de procesos pos-cosecha como el almacenamiento, fermentación, secado y tostado. Durante la fermentación, se generan cambios bioquímicos que originan la pigmentación marrón a partir de compuestos fenólicos, indicando el grado de fermentación en los granos (Erazo *et al.*, 2021). Además, el índice de blancura se utiliza para medir la diferencia entre la superficie blanca ideal (IB=100) y la superficie evaluada, donde un aumento conlleva a una disminución en el valor de índice de blancura (Montoya *et al.*, 2012).

En la Figura 3 se presenta el color interno según el grado de fermentación de los granos de copoazú después del proceso de secado. Estos parámetros se derivan de la norma NTC 1252:2021 para granos de cacao del género *Theobroma cacao* L., con ajustes específicos. Se destaca que uno de los parámetros modificados es el color, ya que los granos de copoazú no exhiben tonalidades violetas o intensas como las presentes en los granos de las variedades trinitario y forastero. Según Villagra *et al.* (2022) en la fermentación natural y secado al sol, se logra un 83,3 por ciento de granos bien fermentados; 13,7 por ciento insuficiente fermentados y 3 por ciento mal fermentados.

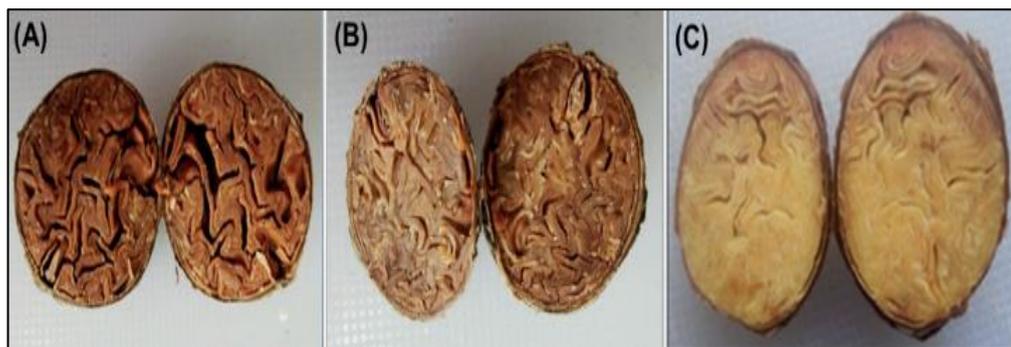


Figura 3: Comparación entre procesos de fermentación adecuada, insuficiente y deficiente (A, B y C, respectivamente)

FUENTE: Villagra *et al.* (2022)

Posterior al tostado, según Hurtado (2023), el índice de blancura alcanza aproximadamente 30,73 debido al oscurecimiento causado por la hidrólisis de las antocianinas y la subsiguiente oxidación de agliconas a compuestos quinónicos. Estos procesos contribuyen a la formación de compuestos pardos característicos de los granos fermentados y secos (Ortiz *et al.*, 2009). Los tres atributos del color que permiten describir un alimento son: luminosidad, tonalidad y pureza (Gilabert, 2007). Las mediciones del color se pueden realizar de manera visual (con el ojo) o con instrumentos como un colorímetro o utilizando la visión digital (Wu y Sun, 2013). En la actualidad, el sistema más utilizado para la descripción y medición del color ha sido desarrollado por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación). El sistema se basa en la utilización de un espacio de color que utiliza las coordenadas L^* , a^* y b^* en un sistema cartesiano para correlacionar valores numéricos con la percepción visual humana. Desde el punto de vista del consumidor estos valores carecen de importancia; sin embargo, en investigaciones tiene un valor importante cuando se requiere representar la diferencia de color de manera numérica (Pau, 2017).

El sistema cartesiano está formado por 3 ejes con magnitudes adimensionales, un eje vertical (L^*) que representa la luminosidad o que tan claro/oscura es el color de un alimento variando desde 0 para el color negro hasta 100 para el color blanco con dos ejes horizontales (a^* y b^*). Los componentes de cromaticidad (a^* y b^*) varían en el rango de - 60 a + 60 (Chire *et al.*, 2016). El eje horizontal a^* es la desviación del punto cromático correspondiente a la luminosidad y representa desde el color rojo a verde. El eje perpendicular al eje a^* es el eje b^* y representa un contenido de color amarillo si el valor es positivo; sin embargo, para valores negativos indican contenido de color azul. El conjunto de ejes de a^* y b^* se denomina cromaticidad y en unión con L^* definen el color del estímulo.

2.3.3. ACIDEZ TITULABLE

En los granos del género *Theobroma*, el ácido acético predomina con un 97 a 99 por ciento, seguido por el ácido láctico. La acidez titulable de los granos de copoazú sin fermentar, secar y tostar es de 2,15 por ciento (Brito *et al.*, 2009). Durante la fermentación, la acidez aumenta debido a la producción de ácidos orgánicos por la acción microbiana sobre los azúcares en el mucilago, generando variaciones en los valores de acidez titulable según las técnicas de fermentación (Lares *et al.*, 2013). En el secado, la acidez titulable disminuye a 1,88 por ciento, y después del tostado, alcanza el 0,55 (Cuse *et al.*, 2021).

2.3.4. pH

Según Hernández y Barrera (2004), el pH del grano sin fermentar, secar y tostar es 6,2. Durante la fermentación, el grano está cubierto por una masa, llamada mucilago, que contiene carbohidratos para la formación del ácido acético. Este ácido migra a través de la testa debido a su alta permeabilidad (Rojas y Villagra, 2016). En comparación con el pH del grano, el mucilago experimenta un aumento, hasta 5,9 debido a la fermentación, mientras que su pH inicial es de 3,3. Después de la fermentación, desciende hasta 4,2 debido a la conversión del etanol a ácido acético y a la migración de los compuestos de la masa de fermentación hacia el grano. En la fermentación de los granos de copoazú ocurre pérdidas de ácido acético por evaporación lo que genera que haya fluctuaciones de este indicador y aumente el valor a partir del sexto día. Sin embargo, el valor al final del proceso de fermentación será menor en comparación al valor inicial.

Por último, este indicador depende del tipo de fermentación ya que en la fermentación natural se reduce el valor de 6,46 a 5,08; sin embargo, en la fermentación controlada con solución de sacarosa se reduce de 6,25 a 4,79 (Rojas y Villagra, 2016). El secado de manera rápida produce un exceso de ácido acético, perjudicando el sabor. Sin embargo, un secado lento produce un crecimiento de mohos y un pH bajo, evidenciándose con la ausencia del color óptimo esperado. Durante el tostado se produce una disminución de los ácidos volátiles y un ligero incremento del pH de acuerdo a Lares *et al.* (2013).

2.3.5. POLIFENOLES

Los polifenoles son sintetizados principalmente por las plantas como un producto de su metabolismo secundario para defenderse de ataques bacteriano o fúngicos y contribuyen en la pigmentación de algunas partes de las plantas (Quinones *et al.*, 2012 y Creus, 2004). Estos son almacenados en las células pigmentarias de los cotiledones y aportan colores que van desde el blanco hasta un morado oscuro, dependiendo de la cantidad de antocianinas almacenadas en los granos de copoazú fermentados y secos (Osman *et al.*, 2004). Los polifenoles se encuentran en las células pigmentarias de los cotiledones de los granos de copoazú y le confieren su color característico. Los polifenoles cumplen diversas funciones fisiológicas que pueden ser relacionadas a la prevención de enfermedades cardiovasculares, procesos inflamatorios, retraso del envejecimiento y cáncer (Vásquez *et al.*, 2016).

Martínez y Periago (2000) explican que los polifenoles tienen una estructura formada principalmente por uno o más grupos hidroxilos unidos a un grupo fenol. El fenol posee un anillo bencénico dentro de su estructura que permite tener la capacidad de estabilizarse por lo tanto tener la facilidad de perder el hidrógeno de su grupo hidroxilo haciendo que se comporte como un ácido débil. Las propiedades químicas del fenol hacen que sea un buen antioxidante y que actúe como un agente de captura de radicales. La separación del átomo de hidrógeno perteneciente al grupo hidroxilo es ocasionado por la estabilización por resonancia del radical feniloxilo resultante el cual tiene actividad como agente secuestrador de radicales libres. El radical formado puede continuar oxidándose con facilidad; el manejo de las condiciones de oxidación y del tipo de agente oxidante empleado, puede conllevar a la formación de productos tales como dihidroxiBenceno, trioxiBenceno y/o quinonas (Orona *et al.*, 2016).

La biodisponibilidad de los polifenoles en el organismo depende de muchos factores como: la estructura química, cantidad de alimento ingerido e interacción con otros alimentos al momento del consumo. Los polifenoles no son producidos por los organismos humanos, por lo que se deben agregar a la dieta como parte no energética a través del consumo de plantas, frutas y diversas bebidas. Según Teng y Chen (2019), los polifenoles cuando llegan al estómago en una estructura glicosilada permiten que su absorción sea inmediata; sin embargo, el resto de los polifenoles no absorbidos continúa su circulación y será absorbidos en el intestino delgado y el colon. La absorción de ambos tejidos se realiza mediante reacciones metabólicas para separar los azúcares unidos entre sí y obtener polifenoles en su forma aglicona. En la Tabla 3 se presenta la cantidad de polifenoles extraíbles en los granos fermentados y secos de diferentes frutos, evidenciando que el copoazú, al igual que el cacao, presenta un alto contenido de polifenoles extraíbles. Bitzer *et al.* (2015) mencionan los efectos beneficiosos para la salud, como la mitigación de la inflamación, la disfunción vascular y el síndrome metabólico.

Tabla 3: Polifenoles extraíbles de diferentes especies del género *Theobroma*

| Muestra | mg de polifenoles extraíbles/g base seca |
|-------------------|--|
| Granos de macambo | 0,61 ± 0,01 |
| Granos de cacao | 121,01 ± 0,14 |
| Granos cacahuillo | 30,43 ± 0,12 |
| Granos copoazú | 96,92 ± 0,55 |

FUENTE: Sotero *et al.* (2011)

El grano de copoazú presentó un $96,92 \pm 0,55$ mg de polifenoles y para el grano de cacao de $121,01 \pm 0,14$ mg de polifenoles, ambos representan los principales generadores de compuestos antioxidantes del género *Theobroma* (Díaz y Hernández, 2020). La diferencia del contenido de polifenoles entre el copoazú y cacao se atribuye a diferentes factores como: clima, ambiente, madurez, variedad y temperaturas del proceso de cosecha (Michel *et al.*, 2016). Durante el beneficio del grano de copoazú, solo en el fermentado se obtiene un aumento en la concentración de compuestos fenólicos; sin embargo, en las etapas posteriores, el contenido de polifenoles disminuye entre el 20 y 70 por ciento (Galeano *et al.*, 2012).

La presencia de bacterias ácido láctico, levaduras y ácido acético en la fermentación afecta positivamente los polifenoles. El tiempo de fermentación no debe exceder de seis días, ya que conlleva a la degradación de los compuestos fenólicos a nitrógeno en forma de amoníaco y, a nivel sensorial, produce sabores desagradables (Giacometti *et al.*, 2015). Todorovic *et al.* (2015), determinaron que existe una disminución en la capacidad antioxidante luego del proceso de beneficio, por lo que proponen la adición de frambuesas al chocolate final para aumentar representativamente el contenido de antioxidantes y, por ende, la capacidad antioxidante. Se evidenció que la adición de frutas con alto contenido de antioxidante generó un aumento representativo de capacidad antioxidante en las muestras de chocolates. Asimismo, la inclusión de *nibs* de cacao sin tostar para aumentar o mantener el contenido de polifenoles (delgado *et al.*, 2018).

Por último, Sotero *et al.* (2011) determinaron que el contenido de flavonoides en los granos de copoazú es mayor con respecto a los granos de cacao, con valores de 6,58 y 5,38 mg de flavonoides por gramo de grano respectivamente. En los granos de copoazú destaca la presencia de flavonoles; sin embargo, en los granos de cacao, lo predominante son las flavanonas (Sotero *et al.*, 2011).

2.3.6. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Los antioxidantes cuando están presentes en bajas concentraciones en relación con el sustrato oxidable retardan o inhiben de forma significativa la oxidación del sustrato. Los principales compuestos que presentan una importante actividad antioxidante son los compuestos fenólicos o polifenoles (Sotero *et al.*, 2011). La capacidad antioxidante nos indica la cantidad de antioxidantes presentes en un organismo que retardan o previenen la oxidación de otras moléculas (Phaniendra *et al.*, 2015). La concentración inhibitoria media (IC₅₀) es una medida de la eficacia de un compuesto para inhibir una actividad biológica o enzimática. El valor de IC₅₀ nos indica la concentración de un compuesto necesario para la inhibición biológica en un 50 por ciento en comparación con un control sin tratamiento. Por lo tanto, cuando el valor sea alto significa una menor capacidad antioxidante que requerirá una mayor cantidad del producto (grano o masa) para lograr determinada actividad antioxidante.

Según De la cruz (2017) los anillos aromáticos y la gran cantidad de compuestos hidroxilo que se encuentra en la estructura de los compuestos fenólicos permite el atrapamiento de los radicales libres. Existen dos mecanismos que permiten a los polifenoles actuar como antioxidantes. El primero por transferencia de electrones, el compuesto fenólico dona un electrón para estabilizar el radical libre completando sus valencias y generando un radical estable. En el segundo mecanismo, los compuestos fenólicos reaccionan con el radical libre que son estabilizados por la transferencia del átomo de hidrógeno de los compuestos fenólicos. Dicho esto, la deslocalización de su electrón desapareado sobre el anillo aromático por resonancia o conjugación permite la estabilización de los nuevos radicales libres formados al finalizar el tostado, se requiere 337 μmol por cada 100 g de masa de copoazú para lograr el IC_{50} (Villagra *et al.*, 2022).

2.3.7. CATEQUINA

Según Quiñones *et al.* (2012) los flavonoides se clasifican de acuerdo a las diversas variaciones en su estructura y dentro de este grupo se encuentra los flavanoles y representa un grupo importante en los alimentos. Las flavanoles se encuentran en alimentos como la cebolla, vino tinto y té negro, pero en mayor cantidad en el cacao, té verde y copoazú. Además, Reyes y Carrasco (2019) mencionan que los flavanoles proporcionan efectos quimiopreventivos en pacientes con cáncer. Las catequinas que contienen los granos del género *Theobroma* tienen fuertes propiedades antioxidantes *in vitro* en comparación con las del té verde ya que muestran un efecto antioxidante 4 veces mayor (Arts *et al.*, 1999). El contenido de catequinas del cacao fresco está en el rango de 46 a 61 mg de catequina por 100 g muestra fresca, en comparación con el té verde es mayor ya que este último contiene entre 10 a 50 mg de catequina por 100 g de muestra fresca (Gadkari y Balaraman, 2015)

En el copoazú, las flavanoles más abundantes se encuentran en forma de epicatequina y catequinas, estos monómeros tienen la propiedad de interactuar entre sí generando polímeros denominados procianidinas (Pérez *et al.*, 2002). Las flavanoles tienen la propiedad de reaccionar con el ácido gálico, produciendo moléculas conjugadas como la epigalocatequina, la epicatequinagalato y la epigalocatequina-3-galato, que forman parte de alimentos como el cacao y té verde (Durazzo *et al.*, 2019). Los flavanoles más representativos son los de tipo flavan-3-ol y estos pueden aparecer como monómeros (catequinas), dímeros y oligómeros.

Se determinó a través de estudios en cultivos celulares y animales que los flavanoles del cacao poseen una alta probabilidad de aliviar el estrés oxidativo, remodelación aórtica, disfunción renal e inflamación inducida por la diabetes (Álvarez, 2020). Las catequinas presentes en el cacao tienen la capacidad de atrapar e inhibir los radicales libres mediante la inducción de enzimas y la quelación de metales pesados, logrando un equilibrio con el sistema de defensa y evitando efectos perjudiciales para la salud (Chedea *et al.*, 2010). Por último, las catequinas incrementan la efectividad de los medicamentos oncológicos permitiendo que se reduzcan las dosis utilizadas durante la quimioterapia para combatir el cáncer (Chacko *et al.*, 2010).

2.4. CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS DEL COPOAZÚ

Los granos del género *Theobroma* son ricos en polifenoles y alcaloides, éstos contribuyen con el sabor y aroma de este. Los polifenoles atribuyen la sensación de astringencia y amargor, con respecto al aroma les brinda notas verdes y afrutadas a los granos. Caso contrario para los alcaloides que confieren amargor, pero están involucrados en la palatabilidad de los alimentos que los contienen. La cantidad y proporción de estos grupos de moléculas pueden variar en los granos según la especie, aspectos genéticos y ambientales, por lo que el conocimiento de su biosíntesis puede impactar en el diseño a nivel biotecnológico o modificando las condiciones que afectan esas rutas de biosíntesis y con ello producir granos con características más atractivas para el consumidor o la industria (Vásquez *et al.*, 2016).

Un gran número de compuestos fenólicos son productos de la vía biosintética de los fenilpropanoides que ocurre en las plantas en respuesta para contrarrestar el ataque de patógenos (Fan *et al.*, 2015). Esta vía comienza con la desaminación del aminoácido fenilalanina para obtener el ácido trans - cinámico, reacción que es catalizada por la enzima fenilalanina amono liasa. Sin embargo, es la ruta del ácido Shikímico por medio de la cual se lleva a cabo la síntesis de la fenilalanina (Tzin y Galili, 2010) y la activación de la enzima fenilalanina amono liasa que desencadena la producción de compuestos fenólicos como flavonoides, taninos, antocianinas, entre otros por medio de diferentes rutas biosintéticas (Herrera *et al.*, 2016). Por la ruta del ácido Shikimico se sintetizan los compuestos fenólicos más simples, tales como ácido gálico y cinámico.

El ácido gálico se utiliza como equivalente en la determinación de contenido fenólico ya que es el compuesto más simple que se encuentra en los polifenoles. La biosíntesis de polifenoles complejos como los flavonoides está relacionada con el metabolismo primario de los productos intermediarios derivados de plástidos y mitocondria, siendo exportados en forma individual al citoplasma donde se incorporan en forma separada (Vásquez, 2016). En los granos de copoazú fermentados y secos se han encontrado flavonoides antioxidantes como la (+)-catequina, (-)-epicatequina, hipolaetina-8-O-β-D-glucoronido, hipolaetina-8-O-β-D-glucoronido y dos nuevos flavonoides glicosilados theograndina I y II (Yang *et al.*, 2003); los dos últimos se caracterizan por tener actividad antioxidante. Los compuestos de catequinas y antocianinas, debido a sus funciones antioxidantes y antiinflamatorias, proporcionan ayuda preventiva frente a diversas enfermedades como cáncer (Schramm *et al.*, 2001). Estos componentes bioactivos también se caracterizan por tener propiedades de protección cardiovascular, antimicrobianas e inhibición enzimática (Pugliese *et al.*, 2013).

En la industria alimentaria, se observa un crecimiento en la demanda de antioxidantes, lo que impulsa la necesidad de investigaciones científicas para determinar los efectos preventivos de estos compuestos en la salud. Los antioxidantes ayudan a retardar las reacciones de oxidación en diversos sustratos (Cornelli, 2009). En la determinación de compuestos fenólicos se usa principalmente como equivalentes el ácido gálico y en algunas investigaciones también se usó: ácido vainillínico, clorogénico, tanínico, (-)-epicatequina y (+) catequina (Prior *et al.*, 2013). Galeano (2011) determinó que el contenido total de flavonoides por gramo de extracto seco en gramos de copoazú fermentados y secos se encuentra en el rango de $268,3 \pm 12$ y $376,8 \pm 24$ mg catequina. Estos son sustancias que tienen mayor contribución en la actividad antioxidante ya que tienen una mayor capacidad de atrapar el radical ABTS.

2.5. CAMBIOS FISICOQUÍMICOS DURANTE EL TOSTADO

Los cambios más significativos en los granos de copoazú se producen durante la fermentación, secado y tostado, los cuales se reflejan en el sabor y aroma finales del producto. Un grano que no se procesa adecuadamente no puede desarrollar las características sensoriales deseables de un buen grano de copoazú, y tienden a mantenerse con un sabor astringente y con atributos heterogéneos (Vásquez *et al.*, 2016).

El tostado cumple funciones fisicoquímicas y sensoriales, siendo más efectivo en la generación de aminas y aldehídos (Granvogl *et al.*, 2006). Asimismo, en esta etapa, se logra la remoción de la testa de los granos de copoazú al hacerlos más frágiles, y principalmente se generan compuestos a partir de los precursores de aroma y sabor formados en la fermentación y secado (Maceda y Dea, 2019). El tostado se lleva a cabo para prevenir la migración de la grasa de copoazú hacia la cascarilla, cumplir los requerimientos microbiológicos y regulaciones de fabricación, así como para reducir la humedad (Rejas, 2021).

Los cambios principales durante el tostado son resultado de las reacciones de Maillard y Strecker. Según Vega *et al.* (2016), a nivel sensorial, los compuestos más importantes formados a través de las reacciones de Maillard son las alquilpirazinas. Esta reacción implica un oscurecimiento no enzimático que requiere la presencia de un azúcar reductor (glucosa o fructosa) y un grupo amino nucleofílico de los aminoácidos provenientes de la degradación de proteínas durante la fermentación (González *et al.*, 2012). La inducción de la reacción de Maillard es esencial bajo condiciones específicas, como la temperatura elevada y bajo niveles de humedad, condiciones típicas durante el tostado. Ramli *et al.* (2006) y Barisic *et al.* (2019) destacan la importancia de considerar la temperatura y el tiempo de tostado para favorecer el desarrollo de la reacción de Maillard. Un resultado característico de esta reacción es la formación de melanoidinas de alto peso molecular, compuestos que otorgan el color marrón y la textura distintiva que adquieren los granos durante este proceso (Oracz y Nebesny, 2018).

La degradación de Strecker ocurre cuando un carbonilo derivado de la reacción de Maillard reacciona con otros aminoácidos libres del producto para generar aldehídos, amoníaco y dióxido de carbono. La degradación de Strecker de cada aminoácido específico, produce un aldehído con un aroma único (Vásquez *et al.*, 2016). A través de estas reacciones se obtiene el aroma y sabor característico de los productos derivados de los granos de copoazú. Las reacciones de Maillard y Strecker producen entre 400 a 500 compuestos odoríferos que otorgan el sabor y aroma característico, siendo los más importantes los aldehídos y pirazinas (Zzaman e Yang, 2013).

El tostado, según Cajo y Díaz (2017), es un proceso que calienta la parte interna del grano mientras la parte externa está en contacto directo con el tostador, extrayendo humedad y generando aroma, color y sabor. Además, facilita la eliminación de microorganismos y ácidos volátiles, como el ácido acético (Aldave, 2016). Tras el tostado, los compuestos no volátiles incluyen ácidos oxálico, cítrico, láctico, succínico y tartárico (Awua, 2002). Durante este proceso, se produce la pérdida de materia en forma de vapor de agua, compuestos volátiles y dióxido de carbono, así como la deshidratación de azúcares, polisacáridos y aminoácidos, dando lugar a caramelización y productos de condensación (Yeretzian *et al.*, 2002). El calentamiento de la testa durante el tostado provoca la combustión de cualquier material extraño en el grano y permite la migración de la grasa hacia la testa, reduciendo el contenido final de grasa en la masa de copoazú. A mayor tiempo de tostado, los granos de copoazú se vuelven más frágiles en comparación con los de cacao, lo que resulta en una disminución del rendimiento (Cohen *et al.*, 2003). Cohen y Jackix (2005) enfatizan la importancia del tiempo de tostado, señalando que los *nibs* de copoazú son más frágiles que los de cacao, siendo esta una variable crucial a considerar.

La humedad presente en el grano al ingresar al tostador afecta las temperaturas y los tiempos que deben tenerse en cuenta. Después del tostado, se espera reducir la humedad de los granos por debajo del 2,5 por ciento, aprovechando el calor para facilitar el desprendimiento de la cascarilla del cotiledón (Cohen y Jackix, 2005). La relación entre la humedad inicial del grano y el tiempo necesario para el tostado se evidenciará a través de una curva de tiempo de tostado a una temperatura específica (Plúa y Cornejo, 2008).

Según Cadena y Herrera (2008) en el tostado, desengrasado, molienda, maduración, atemperado y finalmente la mezcla con otros ingredientes, pueden alterar el contenido de polifenoles presentes inicialmente en los granos, así como la actividad antioxidante de los mismos. Sin embargo, en el proceso de tostado se pierde la mayor cantidad de moléculas termolábiles como los polifenoles presentes en los granos de copoazú y cacao debido principalmente a las altas temperaturas y tiempo de duración del proceso (Mattia *et al.*, 2017). El uso de granos del género de *Theobroma*, sin un proceso de tostado, en productos derivados produce un sabor amargo y astringente debido al contenido polifenólico total en los granos fermentados y secos es de 6 a 8 por ciento p/p (Lemarcq *et al.*, 2022).

En general, Demir *et al.* (2007) indican que la temperatura y tiempo de tostado determinan las concentraciones de sustancias volátiles, acidez total, contenido de grasa, compuestos que definen el sabor y aroma final de la pasta de copoazú. En Madre de Dios, principal productor de copoazú en el Perú, los parámetros de temperatura y tiempo de tostado de los granos no son medidos y controlados, afectando las características sensoriales y fisicoquímicas (Cajo y Díaz, 2022).

2.6. ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LA PASTA DE COPOAZÚ

Las pruebas afectivas expresan reacciones subjetivas ante el producto, manifestando si gusta o disgusta, si es aceptado o rechazado, o si prefiere sobre otro. La desventaja al ser una prueba subjetiva radica en la mayor variabilidad en los resultados, lo que dificulta su interpretación. Las pruebas de aceptabilidad sensorial pueden utilizar escalas hedónicas que miden el grado de agrado o desagrado hacia un producto, categorizándolo según lo requerido (Rodríguez, 2015). La ventaja de esta prueba radica en su menor tiempo de evaluación y su sencillez, lo que la hace fácil de entender para los panelistas (Facco *et al.*, 2018). Estas pruebas se realizan en condiciones similares a las de consumo normal del producto evaluado y deben ser lo suficientemente breves para evitar la fatiga de los panelistas (Maceda y Dea, 2019).

Maceda y Dea (2019) determinaron el mejor tratamiento de tostado mediante una prueba de aceptabilidad sensorial para la pasta de copoazú. También identificaron el mejor tiempo, equipo de tostado y temperatura para los granos de copoazú fermentados y secos. Bartolini (2022) señala que los factores de temperatura y tiempo de tostado influyen en la calidad sensorial de la pasta de cacao. Aunque los efectos del tostado de los granos de copoazú en la calidad sensorial de la pasta y el perfil sensorial no son tan evidentes, se toman estudios más cercanos, como *Theobroma cacao*, a pesar de las diferencias en el tamaño de partícula, tiempo de enfriamiento, proceso de cristalización de las grasas, entre otros, de los chocolates (Cucaita *et al.*, 2014).

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de Análisis Físico Químico de Alimentos y Laboratorio Evaluación Sensorial de Alimentos perteneciente a la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. MATERIA PRIMA

Los granos de copoazú de la variedad Mamorana utilizados fueron obtenidos en la ciudad de Puerto Maldonado, ubicada en la provincia de Tambopata, en el departamento de Madre de Dios, Perú. Los granos estaban en estado maduro al momento de su recolección y fueron sometidos a un proceso de fermentación a temperaturas oscilantes entre 30 y 35 °C. Posteriormente, el secado se llevó a cabo al aire libre, bajo la exposición solar, con temperaturas fluctuantes entre 25 y 30 °C.

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES

- Materiales de plástico: tubos falcon, tips para micropipeta y todo lo necesario para las distintas metodologías.
- Materiales de vidrio: baguetas, desecadores, fiolas, matraz, pipetas, placas petri, probetas, tubos de ensayo, vasos de precipitado, entre otros.
- Otros materiales como: Cubeta de cuarzo, Crisol de porcelana, Embudo büchner, mortero con pistilo, papel de aluminio, papel Whatman, Tamiz N°30, entre otros.

3.3.2. EQUIPOS

- Agitador magnético (Velp Scientifica, modelo AR, EE.UU.)
- Agitador orbital (Lab Companion, modelo OS 7100, Corea del Sur)
- Balanza analítica (adventurer, modelo AR 2140, EE.UU.).
- Balanza eléctrica (Adam equipemet, modelo CBW-12, Reino Unido).
- Baño María (GFL, modelo 1083, Alemania)
- Bomba de vacío (Vacuumbrand, modelo ME2C, Alemania)
- Campana extractora (Chen Gard, modelo MX-RL-Pro, EE.UU.)
- Centrifuga (Thermo, modelo IEC, EE.UU.)
- Colorímetro digital (Konica minolta, modelo CR 400, EE. UU.)
- Espectrofotómetro (Thermo Spectronic, modelo Genesys, EE. UU.)
- Estufa al vacío (MMM Med center, modelo Vacucell, Republica Checa).
- Equipo Kjeldahl (Gerhardt, modelo 10-0035, EE.UU.)
- Equipo Soxhlet (Yamato, modelo A50270, EE.UU.)
- Molino de cuchillas (Moulinex, modelo AR110830, Alemania).
- Mufla (L-MIN, modelo LR-2011, EE.UU.)
- Porosímetro de Day, modificado por Ureña 1990 (modelo único, Perú)
- Potenciómetro Schott (Mainz, modelo Handylab D-55014, Alemania)
- Refinador-conchador de cacao (Premier, Modelo 8LB, Colombia)
- Refrigeradora (Revco, modelo REL2304, Portugal)
- Rotador de tubos (Dragonlab, modelo Mx-rl-Pro, EE.UU.)
- Vernier (Stainless Hardened[®], con rango de medición de 10-2 m, EE.UU.)
- Vortex (Velp Scientifica, modelo Wizard, Italia)

3.3.3. REACTIVOS

- Acetona (J.T. Baker, España)
- Ácido clorhídrico (J.T. Baker, España)
- Acido gálico (Scharlau, España)
- Ácido sulfúrico (J.T. Baker, México)
- Carbonato sódico (Merck, Alemania)
- Catequina (Sigma-Aldrich, EE.UU.)
- Cloruro de aluminio (Merck, Alemania)

- DPPH (Sigma-Aldrich, EE.UU.)
- Éter de petróleo (J.T. Baker, EE.UU.)
- Fenolftaleína (Merck, Alemania)
- Folin ciocalteau 2N (P.A. Merck, Alemania)
- Hidróxido de sodio (Merck, Alemania)
- Metanol (J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Nitrito de sodio (J.T. Baker, España)
- Sulfato de potasio (Merck, Alemania)
- Sulfato cúprico (Merck, Alemania)
- Trolox (Sigma-Aldrich, EE.UU.)

3.4. MÉTODO DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

Los granos de copoazú sin tostar y sin cáscara, fueron sometidos a una caracterización en el análisis proximal en humedad (AOAC (2016), 931.04), proteína cruda (AOAC (2016), 970.22), grasa cruda (AOAC (2016), 963.15), ceniza (AOAC (2016), 972.15) y por diferencia se realizó el cálculo de carbohidratos. Se calculó el contenido de calorías a partir de la composición proximal del copoazú, conociendo el contenido de grasa cruda, proteína cruda y carbohidratos totales, multiplicando por el factor nueve, cuatro y cuatro kcal/gramo respectivamente (Reyes *et al.*, 2017).

3.4.2. ANÁLISIS FÍSICO

a. DIMENSIONES DE GRANOS

La medición de las dimensiones de los granos de copoazú se realizó por medio de un vernier electrónico en el orden de: largo, ancho y espesor. Se registró las dimensiones de 20 granos de copoazú por cada repetición, siguiendo la metodología empleada por Chire *et al.* (2014).

b. ÍNDICE DE GRANO

El índice de grano se determinó según la metodología aplicada por Contreras y Pérez (2017), el cual se cuantificó y pesó 100 granos, luego se dividió entre 100.

c. POROSIDAD DE GRANO

La porosidad de los granos de copoazú, se aplicó el método de Day, modificado por Ureña (1990). Se calculó a partir de los valores de densidad real y aparente utilizando la ecuación de Lewis (1993).

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} = 1 - \frac{\text{densidad aparente}}{\text{densidad real}}$$

- DENSIDAD REAL

La densidad real se determinó aplicando el método de Day modificado por Ureña (1990). En lugar de insuflar aire dentro del recipiente que contiene la muestra, se extrajo y se produjo un vacío parcial. El método se basó en determinar el volumen de huecos del material al inducir un fenómeno de compensación de presiones entre dos recipientes aislados del medio ambiente. La presión fue la ejercida por el gas, en este caso aire, cuyo número de moles fue constante en el sistema y cuyo resultado fue la suma de lo retenido en el recipiente, previo a un vacío, y de los que se encontraron ocupando el resto del volumen del envase que contiene las partículas de muestra.

- DENSIDAD APARENTE

Se determinó la densidad aparente de los granos de copoazú, se colocó una muestra de estos, de peso conocido, en una probeta graduada. La parte superior se niveló para disminuir los errores de medición sin compactación manual. El valor de densidad se calculó mediante la relación de la masa y del volumen de la muestra.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{masa (Kg)}}{\text{volumen global (L)}}$$

d. PORCENTAJE DE TESTA

El porcentaje de testa se determinó pesando 30 granos de copoazú, después se retiró manualmente la testa y se reportó el porcentaje de cascarilla de la muestra con respecto al índice de grano, siguiendo la metodología empleada por Vera *et al.* (2014), como se detalla:

$$\text{Porcentaje de testa (\%)} = \frac{\text{peso de la testa}}{\text{peso de 30 granos}} \times 100$$

e. COLOR (ÍNDICE DE BLANCURA)

Se descascarillo manualmente 20 granos de copoazú al azar (Rivera, 2018). Los granos descascarillados fueron triturados en un molino de café con cuchillas hasta obtener partículas muy finas. Luego, se tamizó la muestra con un tamiz N° 30 y se colocó el tamizado en una placa Petri para la posterior medición. La medición se tomó desde la base girando por cada medición 90 grados. Por último, se obtuvo cuatro medidas y se promedió para obtener el valor final de una repetición. Las medidas L*, a*, y b* del sistema CIELAB se obtuvo a partir del cernido y serán utilizadas en la ecuación de Lohman y Hartel (1994).

$$\text{Índice de blancura} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

3.4.3. ANÁLISIS QUÍMICOS

Los granos de copoazú, tanto antes como después del tostado, fueron sometidos a la medición del porcentaje de acidez titulable (AOAC (2016), 942.15) y del pH (AOAC (2016), 970.21).

Además, la capacidad antioxidante y la cantidad de catequina se determinaron mediante espectrofotometría, utilizando el método propuesto por Brand *et al.* (1995) con algunas modificaciones

a. ACIDEZ TITULABLE

Mediante la aplicación de la metodología AOAC (2016) 942.15, se determinó el porcentaje de ácido acético, expresando los resultados como dicho porcentaje. Después de la medición de pH a la solución obtenida, se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N, previamente valorado, hasta llegar a pH 8,2. Durante la titulación, se agitó constante mediante un agitador magnético, registrando el consumo y aplicando la ecuación correspondiente para determinar el porcentaje de acidez expresado en ácido acético.

$$\text{Acidez expresado en ácido acético (\%)} = \frac{Vg \times N \times F.D. \times F.E}{m} \times 100$$

Donde: (Vg) es el volumen de gasto de Hidróxido de sodio en mL, (N) es la normalidad de la solución (eq/L), (F.D) es el factor de dilución de la muestra, (F.E) es el meq-ác. Acético y (m) es el peso de la muestra (g)

b. pH

Se determinó con la metodología AOAC (2016) 970.21 la cual consistió en tomar 5 g de granos triturados y añadir 45 mL de agua destilada en ebullición para luego enfriar. Por último, la infusión se filtró al vacío con papel filtro y se midió en la solución filtrada el pH mediante método potenciométrico.

c. CONTENIDO DE POLIFENOLES EXTRAÍBLES

El contenido de polifenoles extraíbles se determinó usando el método recomendado por Hurtado (2023).

- **Preparación de materia prima**

Se pesó 10 gramos de granos de copoazú fermentados y secos. Luego, se descascarillo y tamizó con un tamiz N° 30. Se obtuvieron trozos o *nibs* de copoazú con granulometría homogénea y menor a 600 μm .

- **Preparación de solventes para extracción de polifenoles extraíbles**

La mezcla 1 se preparó con metanol y agua destilada en una proporción de (50/50 v/v). A la mezcla se agregó HCL al 2 N hasta obtener un pH igual a 2 y posterior se enraso hasta llegar al litro con metanol y agua destilada (50/50 v/v). La mezcla 2 se preparó con acetona y agua destilada en una proporción de (70/30 v/v).

- **Desengrasado de la muestra**

Se pesó 2 gramos de trozos o *nibs* de copoazú, obtenidos en la preparación de materia prima y se agregó 20 mL de éter de petróleo. Se procedió a realizar una agitación orbital por un tiempo de 2 horas a 200 rpm, bajo condiciones ambientales. Tras este periodo, se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos. El precipitado se transfirió a una cámara extractora y se dejó reposar por 16 horas para facilitar la salida de las trazas del solvente usado. De este proceso, se obtuvieron muestras de copoazú desengrasadas.

- **Obtención de los extractos fenólicos**

Se pesó 0,5 g de la muestra desengrasada y se agregó 20 mL de la mezcla 1, se hizo una agitación orbital a 200 rpm por un tiempo de una hora y por último se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos. Se obtuvo un sobrenadante y precipitado, el primero se llevó a una fiola de 50 mL y el segundo se agregó 20 mL de la mezcla 2 para realizar una agitación orbital a 200 rpm por una hora y por último una centrifugación a 3000 rpm por 10 minutos. El sobrenadante obtenido se unió con el primer sobrenadante agregado a una fiola para enrasar hasta 50 mL de la mezcla 1 y 2 en una proporción de (50/50 v/v). Para la conservación del extracto fenólico obtenido se traspasó a un frasco ámbar para protegerlo de la luz.

- **Preparación de la curva de calibración para los polifenoles extraíbles**

Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración utilizando ácido gálico como patrón. Se preparó una solución madre de 400 ppm en una fiola mediante la combinación de la mezcla 1 y 2 en una proporción de (50/50 v/v). Se extrajo de la solución madre para formar los puntos de la curva con concentraciones de 50, 100, 150, 200 y 400 ppm. Posterior, se enraso cada fiola obtenida y se transfirió a un tubo de ensayo. A continuación, se agregó 0,125 mL de Folin ciocalteu al 2N a cada tubo de ensayo, seguido de un periodo de reposo de 3 a 8 minutos. Luego, se agregó 3,5 mL de agua destilada y 2,5 mL de carbonato sódico (75 g/litro de agua destilada). Los cinco tubos de ensayos con los reactivos fueron agitados y se dejaron reposar por 60 minutos a temperatura ambiente en la oscuridad. Se midieron las absorbancias en el espectrofotómetro a 750 nm para determinar los puntos de la curva de calibración de los polifenoles extraíbles. El blanco se preparó con 10 mL de la mezcla 1 y 2 en una proporción de (50/50 v/v).

- **Determinación del contenido de polifenoles**

Se utilizó la metodología de Saura-Calixto *et al.* (2007) para la determinación del contenido de polifenoles en los granos de copoazú. Se hizo la dilución de 1 mL de extracto fenólico y 3 mL de la mezcla 1 más la mezcla 2 en una proporción de (50/50 v/v), para posterior extraer 0,125 mL del extracto fenólico diluido para llevarlo a los tubos de ensayo. Se tomaron 15 tubos de ensayo de 10 mL ya que se tuvo 5 tratamientos y se realizó por triplicado. A los 15 tubos se agregó 0,125 mL de extracto fenólico diluido más 0,125 mL del reactivo Folin-Ciocalteu 2 N a cada uno, y se mantuvo en reposo de 3 a 8 min.

Se añadió 2,5 mL de carbonato sódico (75 g/Litro de agua destilada), luego 3,5 mL de agua destilada y se homogeneizó cada tubo de ensayo. Se mantuvo en reposo durante 60 min a temperatura ambiente en oscuridad y se midió las absorbancias en un espectrofotómetro de UV/VIS a 750 nm frente al blanco preparado con 0,125 mL de la mezcla 1 y 2 en una proporción de (50/50 v/v). Los resultados se expresaron en términos de mg de equivalentes de ácido gálico en un gramo de copoazú desengrasado (mg equivalente de ácido gálico/g de copoazú desengrasado).

d. DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La capacidad antioxidante en los granos de copoazú fermentados y secos se determinó mediante la actividad antioxidante por el método DPPH, desarrollada por Brand *et al.* (1995) y modificada por Kim *et al.* (2002).

- Preparación del radical DPPH

Se pesó 3,9 mg de DPPH en un papel de pesaje y se disolvieron gradualmente en 100 mL de metanol al 80 por ciento, transfiriéndolo luego a una fiola aforada de 100 mL. La mezcla se homogenizó a temperatura ambiente mediante un agitador magnético durante una hora y en la oscuridad, con la ayuda de papel metálico para cubrir la fiola. Para preservar la muestra, se trasladó a un frasco de vidrio ámbar con protección contra la luz y se almacenó en refrigeración.

- Preparación de la curva de calibración para la determinación de capacidad antioxidante

Se preparó la solución madre en una fiola aforada con 2,5 mg de Trolox y se enrasó con metanol al 80 por ciento. Se construyó la curva con concentraciones de 50, 100, 250, 500, 750 y 1000 μM . Posteriormente se tomó 100 μL de cada uno más 2,9 mL de la solución preparada del radical DPPH en un tubo de ensayo. Al terminar de agregar DPPH se mantuvo en oscuridad la gradilla de tubos de ensayos hasta la lectura. Por último, después de 10 minutos de reposo se realizó la lectura en un espectrofotómetro de UV/VIS a 517 nm frente a un blanco preparado con metanol al 80 por ciento y reactivo DPPH. Este fue medido al inicio y a los 10 minutos para calcular el porcentaje de inhibición a cada concentración de μmol de trolox. Los resultados se expresaron en términos de μmol de trolox.

- Determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH

Se extrajo 10, 30, 60 y 100 μL del extracto fenólico obtenido por cada tratamiento para posteriormente agregarlo en tubos de ensayos.

Se agregó 90, 70, 40 y 0 μL de metanol al 80 por ciento respectivamente a los tubos de ensayo más 2,9 mL de DPPH a cada uno. Desde el primer tubo que se agregó DPPH se contabilizó 10 minutos para poder las absorbancias a 517 nm. Al terminar de agregar DPPH se mantuvo en oscuridad la gradilla de tubos de ensayos hasta la lectura.

$$\text{Inhibición DPPH (\%)} = \frac{A_c - A_m}{A_c} \times 100$$

Dónde A_c es la absorbancia de los controles y A_m es la absorbancia de la muestra en función del tiempo (10 minutos). La capacidad antioxidante se expresó como IC_{50} (mg/mL) es decir como la concentración de muestra necesaria para inhibir el 50 por ciento de radicales DPPH. Por lo que se obtuvo a partir de la ecuación lineal obtenida del ploteo de las concentraciones de la muestra con respecto al porcentaje de inhibición. Se usó tres puntos para realizar la ecuación lineal. Los resultados se expresaron en términos de μmol de capacidad antioxidante equivalente de trolox en un gramo de copoazú ($\mu\text{mol Eq. Trolox/g}$ de copoazú).

e. CONTENIDO DE CATEQUINA

El contenido de catequinas se determinó de acuerdo con el método colorimétrico planteado por Brand *et al.* (1995).

- Preparación de la curva estándar de catequina

Se preparó en una fiola de 100 mL la solución madre con 25 mg de catequina y se enraso con agua destilada. De esta se extrajo para la formación de los puntos de la curva de 40, 60, 80, 100, 150 y 250 ppm, posterior se enraso con agua destilada en fiolas de 10 mL. Para la curva estándar se extrajo 1 mL de las concentraciones preparadas, en el tiempo cero se agregó 0,3 mL de una solución de nitrito de sodio al 5 por ciento (m/v). Después de 5 min, se añadió 0,3 mL de cloruro de aluminio al 10 por ciento (m/v). A los 6 min, se agregó 2 mL de hidróxido de sodio al 1 M, se diluyó llevándolo a un volumen de 10 mL con agua destilada. Por último, se midió las absorbancias a una longitud de onda de 510 nm.

- **Determinación del contenido de catequina por tratamiento**

La modificación que se realizó fue la cantidad extraída de alícuota (1 μ L) del extracto fenólico y fue transferido a un balón volumétrico de 10 mL que contenía 4 mL de agua destilada. A tiempo cero, se agregó 0,3 mL de una solución de nitrito de sodio al 5 por ciento (m/v). Después de 5 min, se añadió 0,3 mL de cloruro de aluminio al 10 por ciento (m/v). A los 6 min, se agregó 2 mL de hidróxido de sodio al 1 M, se diluyó llevándolo a un volumen de 10 mL con agua destilada. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 510 nm. Esta medición se comparó con la curva estándar de catequina preparada en agua destilada. El contenido de flavonoides totales del material vegetal se expresó en mg equivalente de catequina por gramos de muestra de copoazú. La precisión analítica se evaluó a través de las desviaciones estándares relativas para un total de tres repeticiones por tratamiento.

3.4.4. DETERMINACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LA PASTA DE COPOAZÚ

Después del tostado, los granos fueron descascarillados manualmente y molidos hasta obtener una pasta de cacao con un 99 por ciento de finura. Esta se enfrió para realizar el templado y evitar la solidificación. Luego, fueron empacadas en bolsas de polietileno para obtener las muestras hasta la evaluación sensorial. La prueba de aceptabilidad sensorial fue realizada por cuatro catadores oficiales de chocolate conformado por mujeres y hombres entre las edades de 25 a 45 años. Se utilizó una escala hedónica lineal no estructurada de 10 cm de longitud (Figura 4), cuyos extremos se valoraron como “Me desagrada mucho” y “Me agrada mucho”, y en su centro “Ni me agrada ni desagrada” (Ureña *et al.* 2019).



Figura 4: Escala hedónica lineal no estructurada

FUENTE: Ureña *et al.* (2019)

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de los granos de copoazú fermentados y secos. Estos granos fueron sometidos a cuatro tratamientos experimentales con tres repeticiones (Bartolini, 2022), que resultaron de la combinación de los niveles de las dos variables independientes: temperatura (95 y 115 °C) y presión (20 y 100 kPa), que se aplicaron en el proceso de tostado por un tiempo de 20 minutos. La estufa al vacío usada en el tostado fue de la marca MMM Group del modelo Vacucell, con rango de temperaturas desde 5 °C sobre la temperatura ambiente hasta 200 a 300 °C. El equipo se usa para tostar materiales, componentes y muestras hasta alcanzar un peso constante en un entorno de vacío con posible atmósfera de gas inerte. Este modelo se destaca por su funcionamiento silencioso y calentamiento suave, lo que proporciona un tostado equilibrado y seguro para una variedad de materiales, incluyendo aquellos sensibles al calor, a la oxidación o en forma de polvo en laboratorios, así como productos industriales con formas complicadas y muchas aberturas y roscas.

Por último, se tuvo un tratamiento control (granos de copoazú fermentados y secos sin tostar). Luego se determinaron los valores de las variables dependientes para cada tratamiento (porcentaje de humedad, color o índice de blancura, porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante, catequina y aceptabilidad sensorial).

3.5.1. ANÁLISIS AL GRANO DE COPOAZÚ FERMENTADO Y SECO

Los granos de copoazú fermentados y secos fueron caracterizados con sus propiedades fisicoquímicas, físicas y químicas respectivas, en lo fisicoquímico se analizó la composición proximal y las calorías, en lo físico se analizaron las dimensiones del grano, índice de grano, porosidad y porcentaje de testa y en lo químico se analizó la acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante y catequina.

3.5.2. ANÁLISIS DESPUÉS DEL TOSTADO

Los granos de copoazú se extrajeron por el método de cuarteo de una muestra de 700 g de granos, la cual se almacenó a una temperatura entre 18 y 20 °C hasta el momento de su uso. Luego del tostado los granos de copoazú fermentados y secos fueron sometidos a la determinación de porcentaje de humedad, color (índice de blancura), porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante ($DPPH - IC_{50}$) y catequina. Posteriormente, los granos de copoazú tostados fueron molidos hasta obtener una pasta de copoazú la cual fue atemperada manualmente por 30 minutos a 35 °C y por último, moldeado para la prueba de aceptabilidad sensorial.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se determinó el efecto de la temperatura y presión en el tostado de los granos de copoazú fermentados y secos sobre las variables respuesta (porcentaje de humedad, color o índice de blancura, porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante y catequina). Se aplicó un arreglo factorial 2^2 (2 factores con 2 niveles cada uno), teniendo un total de cuatro tratamientos con tres repeticiones, donde el análisis de varianza se aplicó para un nivel de significancia de 0,05 ($p < 0,05$). Un factor estudiado en la operación unitaria de tostado fue la temperatura (95 y 115 °C), y el segundo factor fue la presión (20 y 100 kPa). El tiempo que duró cada repetición de tostado fue de 20 minutos. El mejor tratamiento fue el que varió en menor cantidad los polifenoles, capacidad antioxidante y conservó un mayor porcentaje de catequinas después del tostado.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores de dimensiones, índice de grano, porosidad, porcentaje de testa, análisis proximal y calorías de los granos de copoazú sin tostar, se determinaron mediante el cálculo de la media y desviación estándar de los datos obtenidos de las tres repeticiones. Los valores de porcentaje de humedad, color (índice de blancura), porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante (IC_{50}) y catequina (variables respuesta), se calcularon la media y desviación estándar de los datos obtenidos de cada unidad experimental; para ello se utilizó el software estadístico Statgraphic®.

Para evaluar si hay un efecto significativo ($p < 0,05$) de la temperatura (95 y 115 °C) y la presión (20 y 100 kPa) en un tiempo de tostado de 20 minutos, conforme a las referencias, sobre el contenido de humedad, color (índice de blancura), porcentaje de acidez titulable, pH, polifenoles, capacidad antioxidante (IC_{50}) y catequina de los granos de copoazú, se llevó un diseño factorial 2 a la 2. Cada tratamiento fue replicado tres veces.

Se incluyó el tratamiento sin tostar para realizar una comparación de varias muestras y se determinó si existen diferencias significativas entre los tratamientos. El análisis de varianza (ANOVA) reveló la presencia de diferencias significativas entre las variables de respuesta de cada tratamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS GRANOS FERMENTADOS Y SECOS DE COPOAZÚ

En la Tabla 4 se presenta las características de los granos fermentados y secos de copoazú. Estas incluyen las dimensiones del grano (largo, ancho y espesor), índice de grano, porosidad, y porcentaje de testa. Los resultados fueron el promedio de las repeticiones \pm la desviación estándar (Anexo 1).

Tabla 4: Características de los granos fermentados y secos de copoazú

| Características | Contenido |
|---------------------------|------------------|
| Largo (mm) | 27,16 \pm 0,61 |
| Ancho (mm) | 21,33 \pm 0,62 |
| Espesor (mm) | 12,18 \pm 0,20 |
| Índice de grano (g/grano) | 2,38 \pm 0,04 |
| Porosidad (%) | 0,64 \pm 0,06 |
| Porcentaje de testa (%) | 27,22 \pm 0,19 |

En relación con el largo del grano fermentado y seco de copoazú, se encontró la medida en promedio (27,16 \pm 0,61 mm), valor cercano al reportado por Cajo y Díaz (2022); Rojas y Villagra (2016) para el grano con condiciones similares y procedentes de la región de Madre de Dios, (26,98 y 27,20 \pm 0,21 mm), respectivamente. Asimismo, Santos y Uría (2020) reportan un largo de 27,37 \pm 2,39 mm para el grano procedente de la región de Pará en Brasil. El promedio del largo obtenido resultó superior en comparación con los granos de cacao de genotipos CCN 51 e ICS 6, como lo determinó Rivera (2018), siendo de 24,82 \pm 1,89 mm y 24,18 \pm 2,36 mm, respectivamente

El promedio del ancho encontrado para el grano de copoazú fermentado y seco fue de $21,33 \pm 0,62$ mm, valor cercano a $22,29$ mm reportado por Cajo y Díaz (2022) para el grano de copoazú procedente de la región de Madre de Dios. En comparación con esta investigación, dicho valor supera significativamente el ancho de los granos de cacao del genotipo CCN 51, según lo determinado por Bartolini (2022), que fue de $13,32 \pm 0,05$ mm.

El promedio del espesor encontrado para el grano de copoazú fermentado y seco fue de $12,18 \pm 0,20$ mm, valor cercano para el grano de copoazú procedente de la región de Madre de Dios, con valores de $12,00 \pm 0,1$ mm y $11,71$ mm reportado por Villagra *et al.* (2022); Cajo y Díaz (2022), respectivamente. Bartolini (2022) determino el promedio del espesor para el grano de cacao de genotipo CCN 51 de $9,37 \pm 0,43$ mm, es menor en comparación con el espesor de los granos de copoazú obtenidos.

Tunde y Akitunde (2007) mencionan que el porcentaje de humedad influye directamente proporcional sobre el largo y espesor de los granos de copoazú frescos durante la fermentación; siendo la variable independiente el porcentaje de humedad y las variables dependientes (espesor y largo). Esta se corrobora con Lares *et al.* (2013) que reportaron un aumento estadísticamente significativo en el largo del grano de copoazú fresco después del proceso de fermentación ya que al inicio del proceso se obtuvo $1,87 \pm 0,62$ mm y al finalizar $1,91 \pm 0,50$ mm. Durante la fermentación hay una migración a través de la testa del exudado del mucilago hacia el interior del grano que va formando un líquido de color púrpura con contenido de etanol, ácido acético y otros componentes en menor concentración. Principalmente la penetración del ácido acético destruye la semipermeabilidad de las membranas de las células, ocasionando la separación del grano de copoazú con la testa con facilidad y el hinchamiento en dirección del largo y espesor mas no en el ancho (Ortiz *et al.*, 2009). Según Rivera (2018) menciona que el efecto de la fermentación en las dimensiones de los granos varía dependiendo del genotipo de cacao en estudio. El cacao de genotipo ICS 6 tuvo diferencias significativas unicamente en el espesor mientras el largo y el ancho se mantuvieron constantes. Por el contrario, para el genotipo de cacao CCN 51 el largo y espesor tuvieron efectos significativos, a diferencia del ancho que se mantuvo constante durante la fermentación. Se deberá considerar en las investigaciones del copoazú mencionar el genotipo en estudio ya que puede variar el efecto de cada proceso sobre las dimensiones del grano.

Ndukwu *et al.* (2012) mencionan que dependiendo la técnica de secado se dará diferentes efectos en el área superficial pero principalmente en el volumen del grano durante el proceso. Lares *et al.* (2013) mencionan que el secado al sol produce una disminución en el contenido de humedad por lo que el grano sufre un hinchamiento que genera el aumento en la dimensión lineal del espesor ya que es considerado como el más vulnerable al cambio durante el secado de los granos de cacao y copoazú. Según Lares *et al.* (2013) el largo en los granos de cacao no se ve afectado significativamente después de los procesos de secado al sol y tostado; sin embargo, el ancho y espesor de los granos presentó una disminución estadísticamente significativa. En la elaboración de productos derivados a partir de granos de copoazú o cacao se considera que el lote de granos debe ser homogéneo en las dimensiones del grano donde una heterogeneidad induce al quemado o tostado incompleto de los granos. Es por lo mencionado que se considera importante la caracterización en cuanto a las dimensiones de los granos de copoazú para disminuir los riesgos durante el proceso de tostado (Lares *et al.*, 2013).

El índice de grano y las dimensiones del grano permite separar los granos pequeños de los de mayor tamaño ya que deben tener diferentes temperaturas y tiempo de tostado para así evitar que se quemen los de menor tamaño (Andrade *et al.*, 2019). El rango de temperatura de tostado del copoazú que se exponen las semillas fermentadas y secas se encuentran entre 110 a 150 °C por tiempos entre 15 a 60 minutos (Alegría, 2015). Por otro lado, la variabilidad del índice de grano ocurre cuando los granos de cacao son cosechados y fermentados en distintas épocas del año (Rivera, 2018). En la Tabla 4 se presentó el índice de grano de copoazú fermentado y seco de $2,38 \pm 0,04$ g por grano. Según la clasificación de peso por Soria y Enríquez, citados por García (2012), el grano de copoazú fermentado y seco usado en la investigación estaría dominado como “muy grande” al tener un índice de grano mayor de 1,8 g.

En el Perú, no se cuenta con catálogos de cultivares de copoazú en comparación con el cacao por lo que en la investigación realizada se comparará con los descriptores agronómicos de cacao. El índice de grano, expresado en gramo por grano, también se puede clasificar de acuerdo con lo expuesto por FEDECACAO (2004), en dicha clasificación considera de tamaño “grande” a valores mayores de 1,2; tamaño “intermedio” en el rango entre 1,05 – 1,2 y tamaño “bajo” a valores menores a 1,05.

Conforme a los datos presentados en la Tabla 4, se clasifican como de tamaño “grande” los granos de copoazú fermentados y secos. Además, es de suma importancia que a valores menores de 1,1 para el índice de grano fermentado y seco se debe proceder al descarte del lote por ser considerado de mala calidad (Salazar, 2022).

La porosidad, expresado en porcentaje, de los granos de copoazú fermentados y secos fue de $0,64 \pm 0,06$. Andrade *et al.* (2019) comparan las propiedades físicas y químicas de los genotipos de cacao procedentes del Perú (ICS 6 y CCN 51) y Ecuador (Nacional y CCN 51). Los genotipos que presentaron una porosidad, expresado en porcentaje, igual al obtenido en la Tabla 4, fueron el cacao nacional procedente de Ecuador, CCN 51 y ICS 6, estos dos últimos procedentes del Perú, con valores de $0,64 \pm 0,04$; $0,64 \pm 0,01$ y $0,64 \pm 0,01$ respectivamente. La porosidad en los granos de la familia *Theobroma* es afectada principalmente por la humedad ya que a un mayor contenido de este habrá una menor cantidad de espacios libres y por ende menor porosidad (Guerrero, 2005). Adicionalmente, el contenido de humedad es directamente proporcional a las variaciones de peso, volumen, coeficiente de fricción, ángulo de reposo y tamaño. Reyes *et al.* (2004) mencionan que las variables tamaño y peso de los granos son dependientes a las situaciones edafoclimáticas del medio por ende también afectará la humedad. Los granos de cacao fermentados y secos determinados por Andrade *et al.* (2019) presentan igual porosidad que los granos de copoazú obtenidos en la Tabla 4. Rivera (2018) determinó que la porosidad en los granos de cacao de genotipo CCN 51 es directamente proporcional al índice de fermentación; es decir, si el grano presenta menor porosidad con respecto a otro grano en investigación, su índice de fermentación también será menor. La porosidad puede ayudar a predecir la eficiencia de fermentación como un método objetivo. En síntesis, el porcentaje de humedad, fermentación, secado y época del año de cosecha logran influir en el valor de la porosidad.

Cajo y Díaz (2017) mencionan que luego de la fermentación y secado el porcentaje de testa con respecto al grano de copoazú fue de 27,81 por ciento. En la Tabla 4 se presentó el porcentaje de testa para los granos de copoazú fermentados y secos de $27,22 \pm 0,19$ por ciento, valor cercano al reportado por Cajó y Díaz (2017). Asimismo, Bermúdez y Mendoza (2016) determinaron el rango de porcentaje de testa para los granos de cacao entre 14,24 a 16,52. Sin embargo, los granos de copoazú tienen un rango variable al no tener procedimientos estandarizados desde la post cosecha hasta el tostado.

La diferencia entre el porcentaje de testa del copoazú y cacao también se le puede atribuir a la relación directamente proporcional entre peso promedio de 100 granos y porcentaje de testa (INIAP, 2010). En el Anexo 2 el peso promedio de 100 granos de copoazú fermentados y secos fue de $237,65 \pm 3,79$ g, valor mayor al promedio de la misma cantidad de granos de cacao fermentados y secos determinados por Bartolini (2022) de $149,09 \pm 1,78$ g. El porcentaje de testa promedio obtenido para los granos de copoazú fue mayor en comparación a los granos de cacao que se encuentran entre 14,24 a 16,52 por ciento de contenido de testa. Dichos valores coinciden con lo esperado entre el peso de 100 granos y el porcentaje de testa mencionado por INIAP (2010).

Asimismo, Álvarez *et al.* (2010) determinaron que la relación entre el porcentaje de testa y el peso del grano podría indicarnos también una pérdida de porcentaje de grasa a través de su migración a la testa o cascarilla. Esto se evidencia cuando se compara el peso de 100 granos con otra misma cantidad de granos y si el peso es menor, se espera un menor porcentaje de testa, pero si ocurre lo contrario podría indicarnos que existe una pérdida de nutrientes y lo que es común perder es la grasa a través de la migración hacia la cáscara por lo tanto aumentaría el porcentaje de testa (Álvarez *et al.*, 2007). Otro factor que puede atribuir a la diferencia entre el porcentaje de testa del copoazú y cacao puede ser por el proceso de fermentación y secado. Durante la fermentación el ácido acético, producto de la exudación del mucílago, destruye la permeabilidad de las membranas de las células generando la separación del cotiledón de la testa (Souza *et al.*, 2020). Esta separación permite el retiro con facilidad de la testa luego del tostado por lo tanto habrá una menor cantidad de cotiledón adherida a la cáscara y un mayor rendimiento en la obtención de productos derivados de los mismos. Las condiciones no adecuadas de secado pueden ocasionar que la testa se adhiera al cotiledón y no permitir la evaporación del agua y otros compuestos volátiles que se encuentran al interior del cotiledón (Criollo *et al.*, 2020).

Por lo tanto, si no hay una adecuada fermentación y secado de los granos, la separación de la testa no se dará con facilidad por lo que parte del cotiledón se quedará en la cascarilla y al momento de determinar el porcentaje de testa no se estaría determinando únicamente lo mencionado sino partes del cotiledón. El porcentaje de testa, se considera como residuo en la transformación del grano tostado que al tener un mayor valor en comparación al cacao se puede inferir que su rendimiento no es favorable en el uso de granos de copoazú.

Lares *et al.* (2013), mencionan que el porcentaje de testa es un índice de rendimiento del contenido de los granos disponible para el procesamiento, es decir a mayor contenido de testa, menor cantidad del grano de copoazú disponible. Actualmente hay un aumento en la cantidad de estudios con relación a la utilización de la cascarilla de los granos de copoazú ya que representa un importante desecho agroindustrial en el mundo, una alternativa de fuente de recurso renovable y de energía (Quintana *et al.*, 2015; Baena y García, 2012; García *et al.*, 2022). Por último, el tamaño del grano se puede determinar a partir del porcentaje de testa ya que si es menor al 12 por ciento se considera de “menor tamaño”, si el valor esta entre 12 y 16 por ciento se considera de “mediano tamaño” y si el valor es mayor al 16 por ciento se considera de “tamaño grande” (Lares *et al.*, 2013). De acuerdo con ello, podemos asegurar que a través del porcentaje de testa los granos de copoazú se consideran de “tamaño grande”.

4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL

En la Tabla 5 los granos de copoazú fermentados, secos y sin tostar presentaron diferentes valores en el análisis proximal en humedad, proteína cruda, grasa cruda, ceniza, carbohidratos totales y calorías. Se reportaron los resultados como el promedio de las repeticiones \pm la desviación estándar (Anexo 3). Según Cajo y Díaz (2017) y Bertorelli *et al.* (2004) al finalizar la fermentación, los granos de copoazú tienen un contenido de humedad entre 55 a 60 por ciento respectivamente, valor que posterior al secado disminuye hasta un nivel máximo de 8 por ciento para un almacenamiento seguro y prevención del desarrollo de mohos.

Tabla 5: Análisis proximal de los granos de copoazú fermentados y secos

| Ensayo | Base húmeda (%) | Base seca (%) |
|---------------------------|------------------------|----------------------|
| Humedad (%) | 5,85 \pm 0,03 | - |
| Proteína cruda (%) | 10,07 \pm 0,02 | 10,70 \pm 0,02 |
| Grasa cruda (%) | 58,71 \pm 0,06 | 62,36 \pm 0,06 |
| Ceniza (%) | 2,17 \pm 0,01 | 2,30 \pm 0,01 |
| Carbohidratos totales (%) | 23, 20 \pm 0,01 | 24,64 \pm 0,03 |
| Calorías (Kcal/100 g) | 661, 47 \pm 0,33 | 702,60 \pm 0,29 |

Bertorelli *et al.* (2004) mencionan que el porcentaje de humedad después del secado puede llegar hasta un nivel mínimo del 5 por ciento y el proceso debe tener una duración menor a los 4 días. En el secado se produce un proceso de oxidación de los polifenoles que se detiene por la falta de contenido de agua; es decir, que el proceso sigue hasta que en el grano se inactiven las enzimas que regulan el proceso oxidativo o retirando los granos del área de secado (Cajo y Díaz, 2017). Por otra parte, la fase oxidativa disminuye la astringencia, amargor, acidez del grano y se completa la formación del aroma y sabor en los granos. Criollo *et al.* (2020) determinaron el contenido de humedad en los granos de copoazú después de ser fermentados y secos fue de $5,72 \pm 0,16$ por ciento y el contenido de humedad obtenido para los granos de copoazú fermentados y secos en la investigación fue de $5,85 \pm 0,03$ por ciento (Tabla 5), resultado que coincide con el autor en mención.

El porcentaje de proteína cruda en base seca de los granos de copoazú fermentado, seco y sin tostar presentó un contenido de $10,07 \pm 0,02$ por ciento a base húmeda y $10,70 \pm 0,02$ por ciento a base seca (Tabla 5). El valor determinado es cercano a los encontrados por Maceda y Dea (2019), quienes reportaron que el contenido de proteína en los granos de copoazú de la misma región (Madre de Dios) es de 10,2 por ciento. Criollo *et al.* (2020), mencionan que el porcentaje de proteína en los granos de copoazú fermentados y secos del departamento de Caquetá en Colombia es de $15,34 \pm 0,23$ por ciento.

La diferencia en los resultados se puede atribuir al lugar de procedencia de la muestra. Los granos de copoazú en comparación con el cacao presentan un menor contenido de proteína cruda ya que en la investigación realizada por Tonfack *et al.* (2018) determinaron el contenido de proteína cruda para los granos de cacao Trinitario de Camerun fermentado, seco y sin tostar de $17,9 \pm 0,3$ por ciento. Según Lehrian y Patterson, un alto nivel de proteína en los granos del género *Theobroma* ocasiona que el tiempo de fermentación se incremente por lo que se podría considerar una desventaja en la fermentación para los granos de cacao en comparación con el copoazú ya que este último presenta un menor contenido de proteínas. El tiempo de fermentación aumenta debido a que el proceso requiere proteínas y minerales por parte de los microorganismos existentes; así como también hay un arrastre de otros compuestos por el drenado del proceso. En el secado, la polifenoloxidasas continúan, oxidando polifenoles para posterior condensarlo con las proteínas por lo tanto el contenido proteico será menor al finalizar el proceso de fermentación y secado (Nogales *et al.*, 2006).

El contenido de grasa cruda en base seca de los granos de copoazú fermentados y secos fue de $62,36 \pm 0,06$ por ciento (Tabla 5). El valor mencionado fue mayor en comparación a los obtenidos por Hernández y Barrera (2004), Rojas *et al.* (1996) de 50,80 y 57,22 por ciento respectivamente. Según Castro *et al.* (2016) un alto contenido de grasa interfiere en la cuantificación del contenido de polifenoles totales en los granos de cacao. Sin embargo, no existe estudio en referencia del efecto del contenido de grasa sobre la cuantificación de la calidad nutricional en relación para el grano de copoazú por lo que no se puede deducir que el alto porcentaje de grasa en el grano de copoazú sea una desventaja con respecto al cacao. Oliveira y Genovese (2013) mencionan que el copoazú posee un contenido elevado de grasa en comparación de los granos de cacao, a pesar de sus similitudes filogenéticas. Asimismo, Lares *et al.* (2013) determinaron el contenido de grasa cruda para granos frescos, granos al término de la fermentación y granos al término del secado, en el cual se obtuvieron valores de $45,45 \pm 0,38$; $50,56 \pm 0,18$ y $52,85 \pm 0,21$ respectivamente. Este aumento de contenido de grasa en la fermentación se debe posiblemente a la exposición de actividad microbiana o arreglos internos de la estructura de las células ya que al estar más expuesto la grasa permite su cuantificación con facilidad (Lares *et al.*, 2013). Por el contrario, Criollo *et al.* (2020) mencionan que el contenido de grasa no varía significativamente en el proceso de tostado.

El contenido de cenizas reportado por Rivera (2018) para los granos de cacao fermentado, seco y sin tostar para la variedad CCN 51 e ICS 6 fue de $2,22 \pm 0,19$ y $2,41 \pm 0,09$ por ciento en base seca. Los granos de copoazú fermentados y secos reportaron un contenido de cenizas de $2,17 \pm 0,01$ por ciento a base húmeda y $2,30 \pm 0,01$ por ciento a base seca (Tabla 5), cercano a los valores obtenidos por Rivera (2018). Otra especie que se puede comparar con el copoazú es el *Theobroma bicolor*, el cual reporta un contenido de ceniza de 3,08 por ciento (Quinteros *et al.*, 2018). Esta diferencia se puede atribuir a la procedencia de estos, variedad de granos y método de secado (Rivera, 2018).

El porcentaje de carbohidratos totales de los granos de copoazú fermentados y secos fue de $23,20 \pm 0,01$ por ciento a base húmeda y $24,64 \pm 0,03$ por ciento a base seca (Tabla 5), valor cercano al reportado por Maceda y Dea (2019), quienes reportan que el contenido carbohidratos fue de 24,25 por ciento. Sin embargo, en el análisis proximal de la semilla de copoazú fermentada y seca realizado por Castillo *et al.* (2020) determinaron el contenido de carbohidratos de 35,78 por ciento, valor mayor al obtenido en la investigación.

Pugliese *et al.* (2013) determinaron que existen diferencias estadísticas en la cantidad de carbohidratos y proteínas en diferentes lotes de copoazú de una misma región. La irregularidad de los valores puede deberse a la etapa de maduración, condiciones climáticas, temperaturas e incidencias de la luz (Pugliese *et al.*, 2013). Por último, el contenido de calorías calculado para los granos de copoazú fermentados y secos fue de $661,47 \pm 0,33$ Kcal/100 g y $702,60 \pm 0,29$ Kcal/100 g en base húmeda y seca, respectivamente (Tabla 5). Según Maceda y Dea (2019) los granos de copoazú fermentados y secos presentan un contenido de calorías en base húmeda de 637,9 Kcal/100 g y el mayor aporte de calorías fue del contenido de grasa con un 75,5 por ciento. El contenido de calorías difiere con el mencionado por Maceda y Dea (2019). Sin embargo, el mayor aporte de calorías también proviene de la grasa con un 79,17 por ciento. Incluso las calorías del grano de copoazú son mayores a las calorías de un grano de cacao.

4.2. TOSTADO DE GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

4.2.1. HUMEDAD

En la Tabla 6 se muestran los porcentajes de humedad por tratamiento de tostado de los granos de copoazú fermentados y secos. Se reportaron los resultados como el promedio de las repeticiones \pm la desviación estándar por tratamiento y sin tostar. Asimismo, se consideró el T_0 = sin tostar, T_1 = 95 °C - 20 Kpa, T_2 = 115 °C - 20 Kpa, T_3 = 95 °C - 100 Kpa y T_4 = 115 °C - 100Kpa.

Tabla 6: Porcentaje de humedad de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento

| Tratamiento | Humedad (%) * |
|----------------------------|-------------------|
| Sin tostar (T_0) | $5,85 \pm 0,03^e$ |
| 95 °C – 20 kPa (T_1) | $3,60 \pm 0,05^b$ |
| 115 °C – 20 kPa (T_2) | $2,53 \pm 0,02^a$ |
| 95 °C – 100 kPa (T_3) | $4,91 \pm 0,07^d$ |
| 115 °C – 100 kPa (T_4) | $3,79 \pm 0,08^c$ |

*Las distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Según Ruiz (2020), el contenido de humedad en los granos de copoazú fermentados y secos deben estar en el rango de cinco a seis por ciento para obtener un tostado eficiente. Al respecto, Torres (2023) menciona que valores superiores a este rango son propenso a la proliferación de hongos, mientras que valores inferiores hacen los granos muy frágiles y quebradizos. Por lo tanto, se utilizó granos de copoazú con humedad inicial de $5,85 \pm 0,03$ por ciento, valor que se encuentra dentro del rango mencionado por Ruiz (2020). Cabe mencionar, que un tostado es eficiente cuando el proceso es rentable y cumpla con las necesidades del consumidor de un mercado específico. Vega *et al.* (2016) recomiendan el uso de temperaturas en el rango de 110 y 140 °C por 20 a 50 minutos para un tostado eficiente en granos de copoazú.

Los tratamientos fueron realizados por 20 minutos por lo que se encuentran en el tiempo mencionado por los autores. Maceda y Dea (2019) indican que el tostado de los granos de copoazú tiene como objetivo la disminución de la humedad hasta el 2,5 por ciento. El tratamiento T₂ logró llegar a un promedio de humedad cercano al 2,5 por ciento con $2,53 \pm 0,02$ por ciento. Criollo *et al.* (2020) evaluaron el efecto del tiempo y temperatura del tostado en los granos de copoazú sobre las características químicas y sensoriales del licor obtenido, donde los tratamientos que se aproximaron al valor de humedad recomendado de 2,5 por ciento son los aplicados a 120 y 130 °C por 20 minutos. Los parámetros de temperatura y tiempo de los tratamientos mencionados fueron similares a los utilizados en la investigación para lograr una humedad de 2,5 por ciento.

En el análisis de efectos significativos de la temperatura y la presión sobre el porcentaje de humedad se determinó que como factores de estudio ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la variable respuesta ($p < 0,05$). Sin embargo, la interacción de los factores no ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje final de humedad en todos los tratamientos de tostado de granos de copoazú fermentado y seco (Anexo 4). En el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad, se determinó que el aumento de la presión genera un efecto de incrementar la variable de estudio, mientras que, en contraste, para el factor de temperatura se observa un efecto de disminución. Por último, en el análisis de varianza para el porcentaje de humedad se determinó un valor-p de 0,43 para la interacción de los factores, siendo este mayor a 0,05 con un nivel de confianza del 95 por ciento (Anexo 4).

La justificación de un mayor efecto de la temperatura sobre la variable respuesta radica en el hecho de que la evaporación del agua en el grano es favorecida por el aumento de la cantidad de energía suministrada durante el tostado, específicamente de la temperatura en el proceso (Cengel, 2006). Asimismo, la temperatura de evaporación del agua a presión de 20 kPa es 60,05 °C y la aplicación de temperaturas superiores en el tostado generan una mayor evaporación del agua y asegura que la temperatura dentro del grano sea la adecuada para un correcto arrastre del agua desde adentro hacia afuera (Bonilla, 2014). Lo mencionado se corrobora en la comparación de los tratamientos aplicados a una misma presión de 20 kPa con temperaturas de 95 y 115 °C por separado se obtuvo $3,60 \pm 0,05$ (T_1) y $2,53 \pm 0,02$ (T_2) por ciento, respectivamente. Cabe mencionar que dichos valores fueron los menores obtenidos de humedad en la investigación.

También Bartolini (2022), determinó que la presión (100 y 20 kPa), la temperatura (70 y 80 °C) e interacción de los factores usados en el tostado de los granos de cacao no ejercieron efecto estadísticamente significativo sobre la humedad final. Sin embargo, en este estudio realizado, estos factores de estudio ejercieron un efecto por separado. Esta diferencia se puede atribuir al uso de mayores temperaturas (95 y 115 °C) en comparación de los parámetros usados por Bartolini (2022). La temperatura de tostado es un factor fundamental para la obtención de mejoras en la calidad de los productos derivados de los granos de copoazú fermentados y secos, el cual confiere perfiles sensoriales diferentes, donde a temperaturas más elevadas se puede obtener licores con sabores más intensos reduciendo el tiempo de proceso. Rejas (2021) sugiere temperaturas de tostados mayores de 150 °C, pero menores a 180 °C para lograr un contenido de humedad favorable y el máximo rendimiento de los granos de copoazú fermentados y secos. A su vez, sugiere la aplicación de presión al vacío para obtener granos con el mismo perfil, pero sin mayor demanda de energía. Dentro de las mejoras en la calidad se considera la viscosidad del licor obtenido de los granos luego de ser tostados ya que a una menor resistencia facilitará su manipulación y se relaciona directamente proporcional con el contenido de humedad de los granos de copoazú. Por lo tanto, el contenido de humedad se puede utilizar como factor que ayude a predecir la viscosidad del licor obtenido luego del tostado de los granos de copoazú fermentados y secos. El uso de temperaturas mayores en el tostado de granos fermentados y secos de copoazú eliminan la especificidad aromática y aumento de aromas térmicos que posterior generan un perfil sensorial no agradable para el consumidor.

Durante el tostado todos los granos tienen la habilidad de desarrollar aromas característicos del copoazú debido a sus componentes en sus cotiledones y dependiendo del genotipo generará aromas particulares que se conoce como especificidad aromática. Criollo *et al.* (2020) recomiendan realizar evaluaciones sensoriales a los tratamientos de tostado a temperaturas mayores de 120 °C ya que presenta características en el sabor como amargor, astringencia y quemado, que no permiten la salida de los aromas característicos del grano y que son valorados por la industria a nivel mundial. A nivel sensorial el tratamiento de tostado a 115 °C por 20 minutos logró un mejor perfil sensorial con aromas buscados en la elaboración de chocolatería fina. Dicho esto, las temperaturas usadas fueron adecuadas para obtener un perfil sensorial aceptable por los consumidores y se realizó una evaluación sensorial para corroborar la aceptabilidad del tratamiento óptimo.

Criollo *et al.* (2020) determinaron que a 115 °C y 100 kPa se logró un contenido de humedad de 1,76 por ciento, valor menor en comparación al obtenido en la investigación de $3,79 \pm 0,08$ por ciento a las mismas condiciones de tostado. Esto posiblemente se deba a la diferencia de contenido de humedad que ingresaron los granos al tostado ya que los utilizados fueron mayores en comparación con Criollo *et al.* (2020). Según Bravo *et al.* (2011), la temperatura de ebullición del agua que contiene un alimento se logra reducir al procesarlo bajo condiciones por debajo de la presión atmosférica). A un tostado de 95 °C y presiones de 100 y 20 kPa, la condición de baja presión genera un efecto en la humedad en los granos, $4,91 \pm 0,07$ a $3,60 \pm 0,05$ por ciento, respectivamente. De la misma forma, a 115 °C y presiones de 100 y 20 kPa genera un efecto en la humedad en los granos; $3,79 \pm 0,08$ y $2,53 \pm 0,02$ por ciento, respectivamente. Por lo que se evidencia que la condición de baja presión genera un efecto positivo en el contenido de humedad en los tratamientos de tostado a los granos de copoazú fermentados y secos.

En la comparación de varias muestras de porcentaje de humedad (Anexo 5) se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos de tostado ($p < 0,05$), como efecto conjunto de la presión y la temperatura. Se observó que la cantidad de humedad baja cuando se aumenta la temperatura y con el uso de temperatura de tostado más bajas, siendo el menor porcentaje obtenido con el tratamiento a 115 °C – 20 kPa (T_2). Lo mencionado se corrobora con Torres (2023) ya que se obtuvo la mayor disminución del porcentaje de humedad en el tratamiento aplicado a presión de vacío (20 Kpa) y a temperatura (80 °C).

Según Manzur y Cardoso (2015) la evaporación del agua a bajas presiones se realiza más rápido y con ahorro energético debido a que la temperatura de ebullición es inferior a la que se usa a presión atmosférica. En consideración a lo mencionado, se presentó diferencias significativas en los valores de humedad en porcentajes para los cuatro tratamientos de los granos de copoazú. Por lo tanto, al aplicar el tostado a presión al vacío (20 kPa) a temperaturas de 95 y 115 °C, se llegó a generar diferencias en el valor de humedad final obtenida en comparación con el valor porcentual de humedad del grano tostado a presión atmosférica (100 kPa). Por último, cabe mencionar que la estructura del grano fermentado y seco presenta cambios estructurales debido al tostado ya que la pérdida de humedad hace que el grano tenga una matriz suelta y porosa por lo que su almacenamiento sea seguro al tener limitante el crecimiento de microorganismos siempre y cuando se mantenga las condiciones de humedad correcta (Afoakwa, 2016).

4.2.2. COLOR (ÍNDICE DE BLANCURA)

Las coordenadas cartesianas del grano de copoazú sin tostar fueron $L^*=44,32 \pm 0,52$, $a^*=11,72 \pm 0,38$, $b^*=18,16 \pm 0,28$ (Tabla 7), resultados cercanos a lo indicado por Díaz y Hernández (2020). El componente L^* en los granos de copoazú sin tostar difiere con lo reportado por algunos autores, según Chire *et al.* (2016), mencionan de 31,36 a 36,7, Rivera (2018), de 27,86 a 30,22 y Hurtado (2023), de $32,58 \pm 1,61$. Estas diferencias pueden atribuirse a los distintos métodos de fermentación, secado y a la variedad de la familia *Theobroma* que se utilizó en la investigación.

La coordenada a^* en los granos de copoazú sin tostar fue de $11,72 \pm 0,38$, valor que supera el eje de los tonos verdes y son tendencia al color rojo debido al enrojecimiento de las antocianinas en condiciones ácidas durante el proceso de fermentación (Garzón, 2008). La coordenada b^* en los granos de copoazú sin tostar fue de $18,12 \pm 0,28$ que indica la variación desde azul (-) al color amarillo (+); predominando el color amarillo sobre el azul debido al pardeamiento como resultado de los polifenoles oxidados por la enzima polifenoloxidasasa (Afoakwa *et al.*, 2012).

Tabla 7: Índice de blancura de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento

| Tratamiento | L* | a* | b* | IB* |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Sin tostar (T ₀) | 44,32 ± 0,52 ^a | 11,72 ± 0,38 ^a | 18,16 ± 0,28 ^a | 40,28 ± 0,49 ^a |
| 95 °C - 20 kPa (T ₁) | 41,45 ± 0,87 ^b | 10,56 ± 0,17 ^a | 14,70 ± 0,21 ^b | 38,72 ± 0,87 ^b |
| 115 °C - 20 kPa (T ₂) | 43,12 ± 0,66 ^a | 10,87 ± 0,28 ^a | 15,93 ± 1,82 ^a | 39,91 ± 0,27 ^a |
| 95 °C - 100 kPa (T ₃) | 43,93 ± 0,81 ^a | 10,81 ± 0,50 ^a | 17,68 ± 0,09 ^a | 40,22 ± 0,71 ^a |
| 115 °C - 100 kPa (T ₄) | 43,50 ± 0,48 ^a | 10,65 ± 0,40 ^a | 17,15 ± 0,78 ^a | 40,00 ± 0,45 ^a |

*Las distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

En el estudio de cambio de color durante el beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) procedente de Piura (Chire *et al.*, 2016) se determinó el valor promedio para la coordenada a* y b* de 14,69 y 5,15 respectivamente.; sin embargo, los valores obtenidos para los componentes de cromaticidad en los granos de copoazú fermentados y secos fueron diferentes ya que la combinación L*, a* y b* forman un color marrón más claro en comparación con los granos de cacao fermentados y secos. Cabe mencionar que también se puede explicar la diferencia debido al bajo contenido de antocianinas en el copoazú, lo cual se evidencia en la coordenada a*.

Los granos de copoazú utilizados pasaron por un proceso de fermentación y secado, estos procesos influyeron en el índice de blancura de los granos de copoazú utilizados en el tostado. Según Alegría (2015) la falta de fermentación y secado genera un color violeta y café claro respectivamente para los granos de cacao. Sin embargo, en los granos de copoazú no se desarrolla un color violeta o tonalidades intensas como las desarrolladas en los granos de cacao sino granos de color marrón, blanco con tonalidades marrón claro y gris para una correcta fermentación, insuficiente fermentación y pizarrosos, respectivamente (Castro, 2010). Cabe mencionar que la principal fuente de polifenoles está almacenada en las células pigmentarias de los cotiledones de los granos y aportan colores desde blanco hasta un morado oscuro que depende de la cantidad de antocianinas presentes (Osman *et al.*, 2004). Asimismo, la ausencia del color violeta o morado de los granos de copoazú también es ocasionado por la concentración de antocianinas de 35,88 mg/100 g, valor muy distante al 638,02 mg/100 g de los granos de cacao (Sotero *et al.*, 2011).

Por esa razón, no se puede tomar como referencia el color violeta o morado en la determinación de manera visual del índice de fermentación en los granos de copoazú. El índice de fermentación determina el número de granos sin fermentar (blanco con tonalidades marrón claro y gris) presentes en los granos evaluados, mientras mayor sea el índice de fermentación, mayor será el número de granos marrones. En el Perú no hay normas técnicas para la determinación de índice de fermentación en los granos de copoazú por lo que se toma en referencia las normas utilizadas para los granos de cacao o de otro país. Sin embargo, en la actualidad los productores determinan visualmente el índice de fermentación por lo que se generan procesos no estándares de los productos derivados del copoazú.

En el análisis de efectos significativos de la temperatura y la presión sobre el índice de blancura se determinó que la temperatura y la presión como factores de estudio en sus diferentes niveles o en la interacción de los factores, no ejerce un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre la variable respuesta (Anexo 6). El análisis de varianza para el índice de blancura mostro un valor-p de 0,28 para la temperatura, 0,10 para la presión y 0,13 para la interacción de los factores; siendo todos los valores mayores de 0,05 con un nivel de confianza del 95 por ciento.

Andrade *et al.* (2019) determinaron que existe diferencias significativas entre las variedades de CCN 51 y ICS 6 en Perú, caso contrario ocurre en las mismas variedades en Ecuador que presenta cultivares más homogéneos entre las regiones cacaoteras en comparación que el del Perú. Los valores de índice de blancura son más oscuros para el CCN 51 e ICS 6 de cultivares de Perú de $28,93 \pm 0,38$ y $25,87 \pm 0,32$ y estos valores son menores en comparación con los obtenidos en Ecuador. En el tostado de los granos se incrementa el color oscuro, debido a la gran cantidad de productos intermedios y pigmentos marrones producto de las reacciones de maillard que contribuye al sabor, color, actividad antioxidante del grano y disminución del índice de blancura (Cajo y Díaz, 2017; Oliviero *et al.*, 2009; Vignoli *et al.*, 2011). En la Tabla 7 los valores de índice de blancura después del tostado en todos los tratamientos son menor en comparación al tratamiento sin tostar por lo que se corrobora lo mencionado. El oscurecimiento en los granos de copoazú fermentados y secos se puede atribuir a las reacciones de Maillard producto de procesos térmicos y al pardeamiento enzimático debido a la acción de la enzima polifenoloxidasas.

Según Silva y Silva (2000) en los granos de copoazú se encuentran en cantidades bajas la enzima polifenoloxidasa debido a esto para su inactivación se requiere un menor tiempo de tratamiento térmico. En el Anexo 7 se comparó varias muestras del índice de blancura, para determinar diferencias significativas entre las unidades experimentales como efecto de la interacción de la presión y temperatura en conjunto ($p < 0,05$), en el análisis de varianza se tiene que no existen diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos sin tostar, 95 °C – 100 kPa, 115 °C – 20 kPa y 115 °C – 100 kPa. El único tratamiento que presentó diferencia significativa entre las medias de los demás tratamientos fue el realizado a condiciones de 95 °C – 20 kPa con un valor de índice de blancura de $38,72 \pm 0,87$.

En los tratamientos a 95 °C (T_1 y T_3), se evidencio que existen diferencias significativas y que la presión ejerce efecto en el parámetro evaluado. Con medias de $38,72 \pm 0,87$ y $40,22 \pm 0,71$ para las presiones 20 y 100 kPa, respectivamente. Caso contrario ocurre en los tratamientos a 115°C (T_2 y T_4), ya que no existen diferencias significativas y que la presión no ejerce efecto en el parámetro evaluado. Incluso las medias de ambos tratamientos son cercanos con $39,91 \pm 0,27$ y $40,00 \pm 0,45$ para las presiones de 20 y 100 kPa. Por consiguiente, se puede concluir que la presión ejerce un efecto en el índice de blancura hasta determinada temperatura ya que a temperaturas altas el efecto se vuelve insignificante. Según Bonilla (2014) después del tostado por 30 minutos a una temperatura de 100 °C no fue suficiente para que el índice de blancura cambie considerablemente en los granos por lo que se mantendrá en un color naranja. Sin embargo, si a una misma temperatura por 60 minutos se presentará una reducción del componente L^* generando un color más oscuro por lo cual el índice de blancura fue afectado significativamente.

Según Ortiz *et al.* (2009) el descenso del componente L^* Se evidencia a nivel visual por el oscurecimiento de los granos y de manera interna ocurre una reacción de hidrólisis de las antocianinas y la oxidación de agliconas a compuestos quinónicos. Silva y Silva (2000) determinaron que los tratamientos con condiciones de temperatura de 90 °C por 120 minutos y 115 °C por 80 minutos lograron obtener un oscurecimiento en los granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) que se evidenció con la disminución del valor de L^* . En consecuencia, se concluye que hay más factores que pueden afectar el índice de blancura al finalizar el tostado como el tiempo y temperatura.

4.2.3. ACIDEZ TITULABLE

En la Tabla 8 se muestran los porcentajes de acidez titulable expresado en ácido acético por tratamiento de tostado de los granos de copoazú fermentados y secos. Se reportaron los resultados como el promedio de las repeticiones \pm la desviación estándar por tratamiento y sin tostar. Asimismo, se consideró el T_0 = sin tostar, T_1 = 95 °C - 20 Kpa, T_2 = 115 °C - 20 Kpa, T_3 = 95 °C - 100 Kpa y T_4 = 115 °C - 100 Kpa. Los granos de copoazú fermentados, secos y tostados a una misma presión de 100 kPa, pero a diferentes temperaturas de 95 y 115 °C presentaron valores de $1,37 \pm 0,03$ (T_3) y $1,29 \pm 0,02$ (T_4) por ciento de ácido acético respectivamente. Los granos de copoazú fermentados, secos y tostados a una misma presión de 20 kPa, pero a diferentes temperaturas de 95 y 115 °C presentaron valores de $1,43 \pm 0,02$ (T_1) y $1,31 \pm 0,02$ (T_2) por ciento de ácido acético respectivamente.

Tabla 8: Promedio de la Acidez titulable de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento

| Tratamiento | Acidez (% ácido acético) * |
|----------------------------|----------------------------|
| Sin tostar (T_0) | $1,53 \pm 0,02^d$ |
| 95 °C – 20 kPa (T_1) | $1,43 \pm 0,02^c$ |
| 115 °C – 20 kPa (T_2) | $1,31 \pm 0,02^a$ |
| 95 °C – 100 kPa (T_3) | $1,37 \pm 0,03^b$ |
| 115 °C – 100 kPa (T_4) | $1,29 \pm 0,02^a$ |

*Las distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

El mejor indicativo de la acidez en los granos de copoazú es la acidez titulable por encima del pH (Jinap y Dimick, 1994). La acidez titulable es la cantidad total de ácidos libres que pueden ser valorados al ajustar el pH a 7, mediante la adición de una solución alcalina como el NaOH. Criollo *et al.* (2010) mencionan que las características de los granos como el genotipo y cantidad de mucílago, además la técnica de fermentación y de secado van a desarrollar un cierto nivel de acidez dependiendo de lo mencionado. La cascarilla de los granos se contrae durante el secado, generando que se cierre el grano y que la difusión del ácido acético al exterior sea de mayor de dificultad.

Caso contrario ocurre con las moléculas de agua ya que por su tamaño molecular puede pasar por la barrera generada de la cascarilla del grano con mayor facilidad (Zambrano *et al.*, 2010). Según Díaz y Pinoargote (2012), la técnica de secado al sol es la más recomendada, ya que facilita la rápida difusión del ácido acético y, por ende, genera una mayor disminución de la acidez volátil del grano. En la investigación, los granos utilizados tuvieron un secado al sol para posterior continuar con la fermentación. Según Jinap y Dimick (1994) mencionados por Lares *et al.* (2013) el tostado en los granos tiene un efecto prolongado sobre la acidez ya que produce una disminución de la fracción de los ácidos orgánicos volátiles. En contraste, con los ácidos orgánicos no volátiles ya que aumentan su concentración durante el tostado y no son arrastrados en la evaporación (García, 2000).

Pérez *et al.* (2002) analizaron la acidez después del tostado a 150 °C durante 30 minutos de los granos de cacao fermentados y secos en función al genotipo, determinaron que el rango de acidez ideal después del tostado fue de 1,10 – 1,51 por ciento de ácido acético. Asimismo, se observó una disminución de la acidez por efecto del tostado en los diferentes tratamientos de $1,53 \pm 0,02$ (T_0) en los granos fermentados, secos y sin tostar hasta el valor más bajo para el tratamiento de 115 °C – 100 kPa (T_4) a $1,29 \pm 0,02$ (Tabla 8); coincidiendo con lo reportado por Pérez *et al.* (2002). Cabe mencionar que la temperatura y tiempo utilizados fueron menores, por lo tanto, es una ventaja del uso del copoazú frente al cacao debido a que con menores temperaturas y menor tiempo se obtuvo una acidez dentro del rango esperado.

El equipo de tostado empleado fue un tostador convencional bajo el sistema convectivo que realizó el tueste de los granos de copoazú fermentados, secos y con cáscara en condiciones de temperaturas (95 y 115 °C) y presión (20 y 100 kPa). Uno de los propósitos del tostado es la eliminación de compuestos volátiles no deseados como ácido acético y generar nuevos compuestos volátiles de origen térmico. Los compuestos volátiles de origen térmico fueron formados durante la fermentación y el secado para posterior ser liberado en el tostado. Los compuestos aromáticos de los granos de cacao de fino aroma se pueden afectar con el tostado a altas temperaturas (Cross, 2004). Según Sánchez (2020) el punto de ebullición a presión atmosférica (100 kPa) del ácido acético es de 118 °C, se puede corroborar que a una misma presión pero a una temperatura de 115 °C ocurrió una mayor disminución del contenido de ácido acético en comparación del tratamiento a 95 °C.

Asimismo, Lares *et al.* (2013) mencionan que en el tostado de los granos fermentados y secos hay una disminución significativa de la acidez efecto del mismo proceso. Sin embargo, esta disminución es directamente proporcional a la temperatura aplicada, corroborando los valores obtenidos de la Tabla 8.

En el análisis de efectos significativos de la temperatura y la presión sobre el porcentaje de acidez titulable expresado en ácido acético, se determinó que ambos factores de estudio, ejerce un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$). Sin embargo, la interacción de factores de estudio no ejerció un efecto estadísticamente significativo. En el diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de acidez titulable, se determinó que el aumento de la presión y temperatura genera un efecto de incrementar la variable de estudio. En el análisis de varianza para la acidez se determinó un valor-p de 0,0003 para la temperatura; 0,03 para la presión y 0,30 para la interacción de los factores, siendo este último mayor a 0,05 con un nivel de confianza del 95 por ciento (Anexo 8). Por último, se evidenció que la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ejerce una mayor significancia que la presión (kPa) sobre el porcentaje de acidez después del tostado.

La variación de temperatura afecta la cantidad de acidez presente en el grano, ya que la concentración depende de la cantidad de energía aplicada durante el proceso de tostado para evaporar el agua y volatilizar los ácidos orgánicos. Asimismo, el uso de presión de vacío en comparación de la presión atmosférica facilitará la eliminación de dichos componentes durante el tostado debido a la baja presión existente en el entorno (Cengel, 2006). Además, según el Anexo 8 se observa que la temperatura y la presión influyen significativamente en la variable respuesta. Según Misnawi y Teguh (2010) consideran altas temperaturas a partir de $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura usada para el tostado de los granos de copoazú fermentados y secos se encuentra por debajo del valor mencionado y permitió conservar los compuestos volátiles de origen térmico, pero eliminando los no deseados como el ácido acético. Krysiak (2011) analizó los cambios en el grano de cacao en relación con el contenido de acidez antes y después de ser sometidos al proceso de tostado bajo diferentes condiciones. El tratamiento de tostado convencional que obtuvo la mayor pérdida de acidez titulable en términos de ácido acético fue el aplicado a $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 35 minutos con un valor de $0,7 \pm 0,01$ por ciento.

Sin embargo, al utilizar estos parámetros en el proceso de tostado se detectó que hay una transferencia de grasa del grano a la cáscara, lo cual genera la disminución en las características deseables en los productos derivados. Por lo cual el aplicar elevadas temperaturas en el tostado se logra la disminución del contenido de acidez titulable, pero se tiene que considerar otros factores importantes a nivel tecnológico, sensorial y económico.

En la comparación de varias muestras de porcentaje de acidez (Anexo 9) se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos de tostado de T₀, T₁ y T₃ ($p < 0,05$), como efecto conjunto de la presión y la temperatura. Los tratamientos T₂ y T₄ estuvieron a una misma temperatura de 115 °C, al pasar de presión atmosférica (100 Kpa) a presión de vacío (20 Kpa) se evidencia un ligero aumento del porcentaje de acidez titulable manteniendo la misma temperatura y tiempo de tostado, pero a nivel estadístico no representa diferencias estadísticas ($p < 0,05$). Asimismo, Bartolini (2022) menciona que en los diversos tratamientos realizados a presión (20 y 100 kPa) y temperatura (70 y 80 °C) no ejercen un efecto significativo entre las medias de los tratamientos por lo que no hay disminución considerable de acidez en términos de ácido acético luego del tostado de los granos.

4.2.4. pH

En la Tabla 9 se muestran los diferentes valores de pH por tratamiento después del tostado de los granos de copoazú fermentados y secos. Se reportaron los resultados como el promedio de las repeticiones \pm la desviación estándar por tratamiento y sin tostar. Asimismo, se consideró el T₀ = sin tostar, T₁ = 95 °C - 20 Kpa, T₂ = 115 °C - 20 Kpa, T₃ = 95 °C - 100 Kpa y T₄ = 115 °C - 100Kpa. Para los tratamientos con temperatura de 95 °C a diferentes presiones de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de pH de $5,43 \pm 0,01$ y $5,65 \pm 0,02$, respectivamente. Para los tratamientos con temperatura de 115 °C a diferentes presiones de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de pH de $5,78 \pm 0,04$ y $5,81 \pm 0,01$, respectivamente. Los granos de copoazú fermentados, secos y sin tostar obtuvo un pH de $5,21 \pm 0,03$.

Tabla 9: pH de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento

| Tratamiento | pH * |
|------------------------------------|--------------------------|
| Sin tostar (T ₀) | 5,21 ± 0,03 ^a |
| 95 °C – 20 kPa (T ₁) | 5,43 ± 0,01 ^b |
| 115 °C – 20 kPa (T ₂) | 5,78 ± 0,04 ^d |
| 95 °C – 100 kPa (T ₃) | 5,65 ± 0,02 ^c |
| 115 °C – 100 kPa (T ₄) | 5,81 ± 0,01 ^d |

*Las distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

En la fermentación de los granos frescos de copoazú, el valor de pH disminuye significativamente debido al alto contenido de ácido acético producto de la acción microbiológica sobre los azúcares presentes en el mucilago (Lares *et al.*, 2013). El ácido acético es predominante en la fermentación de los granos de la variedad *Theobroma* y causante de la acidificación del proceso. El exceso de ácido acético, producto de una mala fermentación, causa efectos adversos sobre la calidad sensorial de los productos derivados usando granos de cacao o copoazú (Huayama y Siche, 2020). Los ácidos acéticos y lácticos producidos durante la fermentación migran al interior del grano generando un descenso del pH de 6,5 a 4,5 (Thompson *et al.*, 2001). Asimismo, el pH del grano de copoazú fermentado entre 5,5 a 5,8 es considerado como mal fermentado mientras que el grano fermentado adecuadamente deberá estar entre 4,75 a 5,19 (Afoakwa *et al.*, 2008).

El tiempo de secado varía dependiendo de los diferentes tratamientos de almacenamiento de las mazorcas ya que en los granos de cacao hasta el día siete hay un aumento del valor de pH de 4,80 a 4,92; caso contrario, cuando la duración es de diez días ya que disminuye de 7,01 a 6 (Thompson *et al.*, 2001). Según Afoakwa *et al.* (2015) el perfil de pH durante el secado varía según el tiempo, técnica de secado y especie de género *Theobroma* utilizado generando un pH variable después del secado según las condiciones mencionadas. Según Loureiro *et al.* (2016) indican que después de los procesos de fermentación y secado de los granos de cacao, un pH menor de cinco indica la presencia de ácidos volátiles indeseables para el desarrollo del potencial del sabor y aroma de los granos de copoazú; sin embargo, un pH mayor a cinco indica valores óptimos de calidad para realizar el tostado de los granos fermentados y secos.

Del mismo modo, Armijos (2002) menciona que los granos fermentados y secos con pH menor de cinco pueden generar productos derivados con perfiles sensoriales no aceptables por el consumidor. Sánchez (2006) menciona que el pH en los granos fermentados y secos debe hallarse entre 5,1 a 5,5 para obtener un mayor rendimiento en el tostado. Agregando a lo anterior, el efecto del uso de diversas técnicas de fermentación y secado realizado por Villagra *et al.* (2022) obtienen un pH 5,1 para el tratamiento óptimo con condiciones de fermentación y secado natural. Las condiciones de fermentación y secado en mención fueron las mismas para los granos de copoazú utilizados en la investigación, en el cual se obtuvo un pH final de $5,21 \pm 0,03$ (Tabla 9), valor cercano al obtenido por Villagra *et al.* (2022). En síntesis, se obtuvo en la investigación un pH óptimo de calidad dentro del rango mencionado por los diferentes autores para un posterior proceso de tostado de los granos fermentados y secos para un mayor rendimiento.

En el análisis de efectos significativos de la temperatura y la presión sobre el pH en todos los tratamientos de tostado de los granos de copoazú fermentados y secos se determinó que como factores de estudio ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la variable respuesta ($p < 0,05$) (Anexo 10). En el diagrama de Pareto estandarizado para el pH, se determinó que el aumento de la presión, temperatura e interacción de variables generan un efecto de incrementar la variable de estudio. Por último, se evidenció que la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ejerce una mayor significancia que la presión (kPa) sobre el pH después del tostado. De manera análoga, Criollo *et al.* (2020) mencionan que la variable temperatura ejerce una mayor significancia sobre el pH del tostado de los granos de copoazú. El tratamiento de tostado de copoazú realizado por Criollo *et al.* (2020) a 115°C por 20 minutos a presión de 100 kPa presentó un pH de $5,1 \pm 1,70$, valor cercano al obtenido a las mismas condiciones en la Tabla 11. En contraste con lo obtenido por Bartolini (2022), sobre el efecto de la presión en el pH de los granos de cacao fermentado y seco, se determinó que no existe efecto significativo entre los tratamientos de tostado ya que a la misma temperatura de 70°C pero a presión de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de $4,58 \pm 0,06$ y $4,60 \pm 0,09$; al igual a la temperatura de 80°C pero a presión de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de $4,64 \pm 0,06$ y $4,69 \pm 0,04$. Por lo tanto, el uso de temperaturas (70 y 80°C) y presión (20 y 100 kPa) no presenta una variación significativa del contenido de acidez durante el tostado de los granos de cacao en comparación con los granos de copoazú.

Es probable que las diferencias significativas entre el efecto en el copoazú y cacao se deba a diversos factores como tecnologías usadas en la post cosecha, método de beneficio, proceso de tostado, temperaturas diferentes de proceso y tiempos aplicados (Bartolini, 2022). Asimismo, el pH de los granos luego del tostado (140 °C durante 20 minutos) es variable dependiendo del porcentaje de fermentación que presento los granos ya que Pancardo (2016) evaluó el pH después del tostado desde granos sin fermentar hasta 100 por ciento fermentado. En consecuencia, el pH de los granos es de 6,54; 6,04; 5,90 y 5,39 para los granos de 0, 53, 75 y 100 por ciento fermentados respectivamente. Esto se debe a que, en un proceso de fermentación correcto y efectivo, habrá una mayor cantidad de azúcares que se sintetizan en alcoholes y a su vez en ácido acético. El pH después del tostado de los granos fermentados al 75 a 100 por ciento en comparación con los valores de pH obtenidos en la investigación (Tabla 9); es decir, en un rango de 5,43 a 5,81; se puede inferir que los utilizados estuvieron correctamente fermentados. Asimismo, los valores de pH obtenidos después del tostado en la investigación se encuentran dentro de lo recomendado por Meyer *et al.* (1989) de 5,3 – 6,0 ya que sugiere que en el rango en mención se produce el poder aromático de los granos fermentados y secos.

En los procesos de tostados con duración mayor a 40 minutos ocurre una disminución en la proporción de ácidos volátiles y un leve aumento del pH. Sin embargo, si el proceso es menor del tiempo en mención no existe efecto significativo (Jinap y Dimick, 1994). Igualmente, Lares *et al.* (2013) determinaron que el pH de los granos de cacao fermentado y seco no presentó variaciones significativas como consecuencia del tostado. Cabe mencionar, que la testa al ser permeable ayudará a que los compuestos ingresen con mayor facilidad, modificando la estructura interna del grano y generando una mayor acidez (Pancardo, 2016).

En la comparación de varias muestras de pH (Anexo 11) se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos de tostado de T₀, T₁ y T₃ (p<0,05), como efecto conjunto de la presión y la temperatura. Los tratamientos T₂ y T₄ estuvieron a una misma temperatura de 115 °C, al pasar de presión atmosférica (100 Kpa) a presión de vacío (20 Kpa) se evidencia una ligera disminución del pH manteniendo la misma temperatura y tiempo de tostado, pero a nivel estadístico no representa diferencias estadísticas. Cabe mencionar que todos los tratamientos de tostado en comparación del grano sin tostar, se evidenció la pérdida de ácidos volátiles por la temperatura y presión.

Torres (2023) determinó que los factores de temperatura y presión no ejercieron efecto significativo en todos los tratamientos de tostado; sin embargo, en comparación con el tratamiento sin tostar se evidencio una diferencia significativa.

4.2.5. POLIFENOLES

En la Tabla 10 y Anexo 12 se presentó las concentraciones de polifenoles por tratamiento de tostado. Los tratamientos que conservaron la mayor cantidad de polifenoles en comparación con el tratamiento de granos de copoazú sin tostar fueron los aplicados a 20 kPa con valores de $39,07 \pm 2,45$ y $38,30 \pm 1,81$ mg de polifenoles por gramo de copoazú para las temperaturas aplicadas de 95 °C y 115 °C respectivamente.

Tabla 10: polifenoles de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento

| Tratamiento | polifenoles * |
|------------------------------------|-----------------------|
| Sin tostar (T ₀) | $42,63 \pm 3,23^a$ |
| 95 °C – 20 kPa (T ₁) | $39,07 \pm 2,45^{ab}$ |
| 115 °C – 20 kPa (T ₂) | $38,30 \pm 1,81^a$ |
| 95 °C – 100 kPa (T ₃) | $36,64 \pm 1,95^a$ |
| 115 °C – 100 kPa (T ₄) | $37,17 \pm 0,38^a$ |

*Las distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Por el contrario, los tratamientos que presentaron menor cantidad de polifenoles fueron los aplicados a 100 kPa con valores de $36,64 \pm 1,95$ y $37,17 \pm 0,38$ mg de polifenoles por gramo de copoazú para las temperaturas aplicadas de 95 y 115 °C respectivamente. Asimismo, Stanley *et al.* (2015) identificaron que el tostado a partir de temperaturas mayores a 130 °C en un rango de tiempo de 0 a 40 minutos ocurre una disminución significativa en el contenido de polifenoles. Díaz y Hernández (2020) determinó que el contenido de polifenoles totales para los granos de copoazú fermentado, secado (50 °C por 13 horas) y tostado fue de $25,1 \pm 0,05$ mg de polifenoles totales por gramo de copoazú valor menor en comparación a los obtenidos en el Anexo 12.

Dicho esto, es posible que la diferencia en los valores obtenidos sea ocasionada por la temperatura de 50 °C usada durante el secado ya que Gil (2012) menciona que el uso de temperaturas mayores a 40 °C en el secado ocasiona la disminución de un 30 por ciento del valor inicial en el contenido de polifenoles. Según Barisic *et al.* (2019) el tostado afecta significativamente el contenido y composición de moléculas termolábiles como los polifenoles. Otra posible causa de la diferencia puede deberse a que en la determinación del contenido de polifenoles totales por Díaz y Hernández (2020) no se realizó el desengrasado en los granos de copoazú en comparación al desengrasado previo que se realizó en la investigación. Castro *et al.* (2016) mencionan que el contenido de grasa interfiere en la cuantificación de polifenoles ya que el grano de cacao con y sin grasa después del tostado fue de $5,39 \pm 0,26$ y $6,26 \pm 0,26$ por ciento, respectivamente, es decir que un 16,1 por ciento no es detectado en la determinación de contenido de polifenoles.

Gil (2012) indica que hay correlación inversa entre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante con las temperaturas de fermentación y secado. Los granos de copoazú utilizados tuvieron temperaturas de fermentación entre 30 a 32 °C, mientras el secado se realizó al sol con temperaturas entre 20 a 25 °C. Estas condiciones se encuentran en el rango adecuado mencionado por el autor para la obtención de una mayor cantidad de polifenoles después del tostado. Igualmente, Zapata *et al.* (2015) determinaron la relación directamente proporcional entre la actividad antioxidante y contenido de polifenoles en los granos de cacao. Sin embargo, en la investigación realizada, un alto contenido de polifenoles no garantizó una mayor capacidad antioxidante en los granos de copoazú fermentados y secos. Esto puede ocurrir por la exposición a la luz durante la determinación de la capacidad antioxidante, ya que, según Quiñones *et al.* (2012), esto es uno de los principales condicionantes para la oxidación y formación de sustancias polimerizadas que afectan las características organolépticas de los alimentos.

El secado y tostado en los granos de copoazú son los principales responsables de la degradación de polifenoles por lo tanto se deberá tener en cuenta la temperatura, humedad y tiempo de secado, en el tostado para una menor disminución de polifenoles es el tiempo y temperatura del proceso (Taeye *et al.*, 2017). Por último, durante el secado el aire caliente penetra al grano a través de la testa oxidando a los polifenoles y provocando reacciones bioquímicas internas que reducen su potencial antioxidante (Álvarez *et al.*, 2010).

En el análisis de efectos significativos de la temperatura y la presión sobre el contenido de polifenoles en todos los tratamientos de tostado de los granos de copoazú fermentados y secos se determinó que solo la presión ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la variable respuesta ($p < 0,05$) (Anexo 13). En el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de polifenoles, se determinó que el aumento de la interacción genera un efecto de incrementar la variable de estudio. En la comparación de varias muestras de contenido de polifenoles (Anexo 14) se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de tostado de T₂, T₃ y T₄ ($p < 0,05$), como efecto conjunto de la presión y la temperatura. Los tratamientos T₂ y T₄ estuvieron a una misma temperatura de 115 °C, al pasar de presión atmosférica (100 Kpa) a presión de vacío (20 Kpa) se evidencia una ligera disminución de los polifenoles manteniendo la misma temperatura y tiempo de tostado, pero a nivel estadístico no representa diferencias estadísticas.

4.2.6. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Se determinó los diferentes valores de capacidad antioxidante por tratamiento después del tostado de los granos de copoazú fermentados y secos (Tabla 11). Asimismo, se consideró el T₀ = sin tostar, T₁ = 95 °C - 20 Kpa, T₂ = 115 °C - 20 Kpa, T₃ = 95 °C - 100 Kpa y T₄ = 115 °C - 100Kpa. Para los tratamientos con temperatura de 95 °C a diferentes presiones de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de $44,80 \pm 0,12$ y $24,70 \pm 0,15$, respectivamente. Para los tratamientos con temperatura de 115 °C a diferentes presiones de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de $12,70 \pm 0,24$ y $15,90 \pm 0,21$, respectivamente.

Tabla 11: Coeficiente de inhibición (IC₅₀) de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento

| Tratamiento | IC ₅₀ (µg/mL)* |
|------------------------------------|---------------------------|
| Sin tostar (T ₀) | $96,10 \pm 0,08^e$ |
| 95 °C - 20 kPa (T ₁) | $44,80 \pm 0,12^d$ |
| 115 °C - 20 kPa (T ₂) | $12,70 \pm 0,24^a$ |
| 95 °C - 100 kPa (T ₃) | $24,70 \pm 0,15^c$ |
| 115 °C - 100 kPa (T ₄) | $15,90 \pm 0,21^b$ |

*Las distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Los valores se clasifican como una capacidad antioxidante moderada cuando el IC_{50} es igual o mayor a $50 \mu\text{g/mL}$ pero menor a $100 \mu\text{g/mL}$. En contraste, se evidencia una baja capacidad antioxidante cuando el IC_{50} es igual o mayor a $100 \mu\text{g/mL}$ pero menor a $200 \mu\text{g/mL}$, según la clasificación propuesta por Muñoz *et al.* (2002). Los valores de IC_{50} obtenidos en la Tabla 11 se encuentran entre 12,70 a 44,80 para los granos de copoazú. Por lo tanto, se concluye que los tratamientos presentan una capacidad antioxidante superior a la moderada. En el tratamiento de tostado a $95 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ kPa}$ se determinó un contenido de $39,1 \pm 2,5 \text{ mg}$ de polifenoles extraíbles por gramos de copoazú. Para lograr una inhibición del 50 por ciento (IC_{50}), se necesitaría de $44,80 \pm 0,12^d \text{ mg}$ de polifenoles por gramos de copoazú. Por lo tanto, se concluye que el tratamiento es de bajo potencial antioxidante. En contraste, el tratamiento a $115 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ kPa}$ requirió una cantidad menor de polifenoles por gramo de copoazú desengrasado para alcanzar una reducción de la concentración inicial de DPPH al 50 por ciento. Este valor sugiere un alto potencial antioxidante para dicho tratamiento.

En la Figura 5 se presenta el contenido de polifenoles por cada tratamiento de tostado y sin tostar (línea recta), junto con la cantidad necesaria de antioxidantes para reducir en un 50 por ciento la concentración inicial del radical DPPH, simbolizado a través de barras.

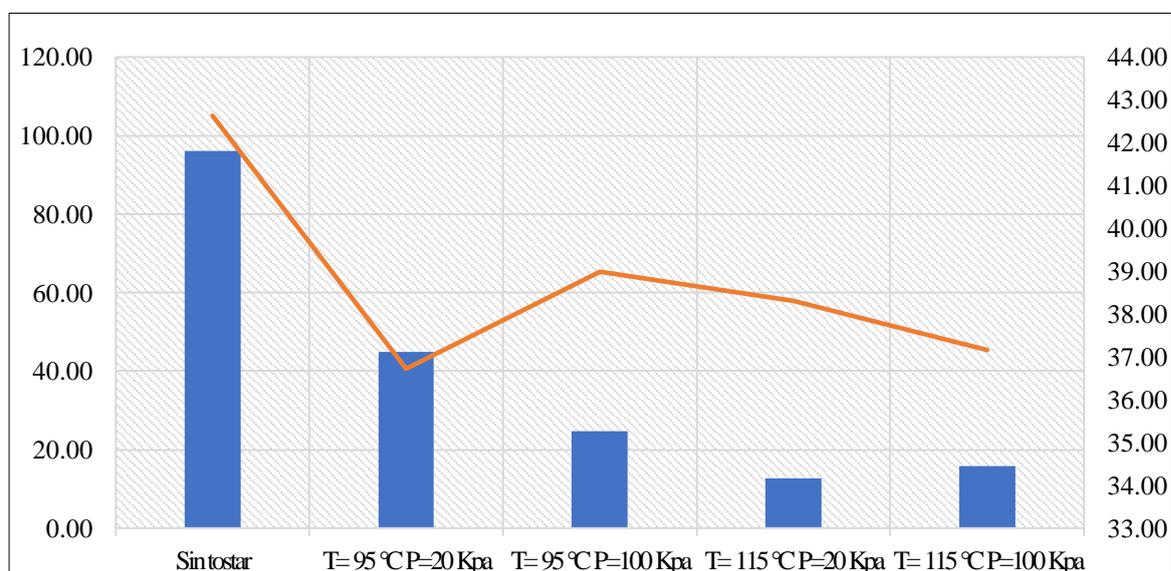


Figura 5: Comparación de IC_{50} por tratamiento de los granos de copoazú fermentados y secos

En el análisis de efectos significativos de la temperatura y presión sobre la capacidad antioxidante de los granos de copoazú fermentados y secos se determinó que como factores de estudio e interacción ejercen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable respuesta ($p < 0,05$) (Anexo 15). En el diagrama de Pareto estandarizado para la capacidad antioxidante, se determinó que el aumento de la interacción de variables genera un efecto de incrementar la variable de estudio, mientras que, en contraste, para el factor de temperatura y presión se observa un efecto de disminución. Según Palermo *et al.* (2013), los polifenoles experimentan cambios durante el procesamiento de alimentos, como cocción y horneado, mostrando a veces incrementos o disminuciones. Pellegrini *et al.* (2010) señalan que factores como la variedad y el proceso influyen en la capacidad antioxidante. En el tostado realizado por Bartolini (2022) a presión atmosférica (70 y 80 °C), no se observaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante en comparación con granos sin tostar. No obstante, se advierte que los valores pueden variar debido a diversos factores, tales como los métodos de análisis, tipo de proceso, parámetros del proceso, entre otros factores.

En comparación de varias muestras de capacidad antioxidante (Anexo 16) se determinó que existen diferencias significativas en todos los tratamientos de tostado ($p < 0,05$), como efecto conjunto de la presión y la temperatura. En consecuencia, los valores para la capacidad antioxidante (IC_{50}) en los cuatro tratamientos de tostado de granos de copoazú a presiones de 20 y 100 Kpa presentaron diferencias significativas. Esto puede atribuirse al método de tostado al cual fueron sometidos los granos de copoazú fermentados y secos.

4.2.7. CATEQUINA

En la Tabla 12 y Anexo 17 se muestran los diferentes contenidos de catequina por tratamiento después del tostado y un control de los granos de copoazú fermentados y secos. Para los tratamientos con temperatura de 95 °C a diferentes presiones de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de $2,89 \pm 0,006$ y $2,90 \pm 0,006$, respectivamente. Para los tratamientos con temperatura de 115 °C a diferentes presiones de 20 y 100 kPa se obtuvo valores de $2,93 \pm 0,006$ y $2,90 \pm 0,006$, respectivamente. Los granos de copoazú fermentados, secos y sin tostar obtuvieron $3,25 \pm 0,006$.

Tabla 12: Contenido de catequina de los granos de copoazú fermentados y secos por tratamiento

| Tratamiento | (mg de catequina/ g de copoazú) * |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Sin tostar (T ₀) | 3,25 ± 0,006 ^c |
| 95 °C - 20 kPa (T ₁) | 2,89 ± 0,006 ^a |
| 115 °C - 20 kPa (T ₂) | 2,93 ± 0,006 ^b |
| 95 °C - 100 kPa (T ₃) | 2,90 ± 0,006 ^a |
| 115 °C - 100 kPa (T ₄) | 2,90 ± 0,006 ^a |

*Las distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

Los tres grupos de polifenoles que se distinguen en los granos de copoazú son: flavonoides (37 por ciento), antocianinas (4 por ciento) y proantocianidinas (58 por ciento) (Hassan *et al.*, 2004). Según Bohm (1998) mencionado por Galeano (2011) los granos de copoazú reportan una buena actividad antioxidante debido al contenido de flavonoides como (+)-catequina, (-)-epicatequina y quercetina. Galeano *et al.* (2012) mencionan que el contenido de flavonoides en los granos de copoazú de diferentes zonas geográficas se ve afectado después del proceso de beneficio (fermentación, secado y tostado) ya que su contenido disminuye entre 20 a 70 por ciento. Asimismo, Quispe (2013) señala que el contenido de catequina de los granos presentó un comportamiento variable durante el proceso de beneficio. Durante la etapa de fermentación, se observó un incremento en la concentración cercano al 68 por ciento, para luego, en la etapa final del tostado, disminuir a valores por debajo de 1,24 mg de catequina por gramo de cacao.

Cuellar *et al.* (2017) cuantificaron el contenido fenólico mediante los metabolitos de catequina; en efecto, se obtuvo antes y después del beneficio $10,06 \pm 0,11$ y $2,25 \pm 0,04$ mg de catequina por gramos de copoazú, respectivamente. En la Tabla 12 se presenta el contenido de catequina de los diferentes tratamientos realizados, y en comparación al obtenido después del beneficio por Cuellar *et al.* (2017), se observó valores superiores. Dicho esto, el contenido mayor de catequina por gramo de copoazú se puede atribuir debido a los efectos de la presión y temperatura utilizadas en la investigación. Por último, el tratamiento que obtuvo una menor pérdida de 10 por ciento en comparación del tratamiento sin tostar fue el aplicado a 115 °C a una presión de 20 kPa.

En el análisis de efectos significativos de la temperatura y presión sobre el contenido de catequina de los granos de copoazú fermentados y secos se determinó que como factores de estudio e interacción ejercen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable respuesta (Anexo 18). En el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de catequina, se determinó que el aumento de la temperatura genera un efecto de incrementar la variable de estudio, mientras que, en contraste, para el factor de temperatura e interacción de variables se observa un efecto de disminución. En el análisis de varianza se determinó un valor-p de 0,002 para la temperatura; 0,04 para la presión y 0,01 para la interacción de los factores, siendo todos menores a 0,05 con un nivel de confianza del 95 por ciento (Anexo 18). Por último, los efectos sobre el contenido de catequina después del tostado, ordenados de manera decreciente y con un nivel de confianza del 95 por ciento, fueron la temperatura (°C), la combinación de ambos efectos (temperatura y presión) y la presión (kPa).

En la industria de alimentos, los factores de procesamiento como la temperatura y pH son los principales causantes de la degradación de las catequinas, por lo tanto, también de su bioactividad (Munin y Levy, 2011). Después del proceso de tostado, los compuestos de catequinas determinados en los granos de cacao siguen preservando sus propiedades terapéuticas debido a su actividad antioxidante (Lujano *et al.*, 2019). En relación con la investigación, se usaron temperaturas similares, pero el tiempo de tostado fue de 20 minutos, una duración menor en comparación con la utilizada por Lujano *et al.* (2019).

En los granos de copoazú, se observó un efecto significativo de la variable temperatura en el contenido de catequina. Se podría inferir que la actividad antioxidante de las catequinas también se conservó, dado que, según Lujano *et al.* (2019), una mayor duración de tostado no afectó considerablemente la actividad antioxidante en los granos de cacao. Esta inferencia sugiere que podría aplicarse de manera análoga para los granos de copoazú. Asimismo, Lujano *et al.* (2019) indican que el contenido de catequina luego del proceso del tostado oscila entre $1,52 \pm 0,19$ y $1,75 \pm 0,16$ mg de catequina por gramo de cacao que es menor en comparación a los obtenidos en la Tabla 12 con un rango de $2,89 \pm 0,006$ y $2,93 \pm 0,006$ mg de catequina por gramo de copoazú. Estas diferencias pueden considerarse una ventaja en el uso del fruto de copoazú en comparación con el cacao, ya que el contenido de catequina por gramo de fruto utilizado se conservó en mayor cantidad para el copoazú que para el cacao.

El contenido de epicatequina y catequina en el tostado a un rango de temperatura de 70 °C a 145 °C por un tiempo de 20 minutos disminuye en un 14 por ciento para cada componente (Jolic *et al.*, 2011). Lo mencionado por los autores se corrobora en la Tabla 12 ya que los granos de copoazú fermentados y secos presentaron un valor de $3,25 \pm 0,006$ mg de catequina por gramos de copoazú y luego del tostado disminuyó el contenido entre 10 a 11 por ciento los tratamientos realizados a temperaturas dentro del rango e igual al tiempo utilizado por los autores Jolic *et al.* (2011).

Los compuestos de catequinas pueden sufrir degradaciones y epimerización debido a las condiciones de procesamiento y al tiempo de almacenamiento de los alimentos en los que se incorporan (De la Cruz, 2017). Las condiciones de temperatura, humedad y tiempo empleado en el proceso de tostado son determinantes en el deterioro del contenido y perfil de polifenoles (Taeye *et al.*, 2017). Estos factores provocan principalmente la degradación a través de cambios estructurales en las catequinas, resultando en la pérdida de su capacidad antioxidante o su transformación a compuestos diferentes.

Duque (2020) menciona que a temperaturas mayores ocasionan la degradación de las moléculas de catequinas. La degradación de los flavan-3-ol en el tostado de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) se puede prevenir utilizando temperaturas por debajo de 120 °C durante 30 minutos (Duque, 2020). Los flava-3-ol más representativos en los granos de copoazú son las catequinas (Galeano *et al.*, 2012). Las temperaturas de los tratamientos de tostado de los granos de copoazú fueron menores (95 y 115 °C), por lo que se puede atribuir como factor la temperatura a las menores pérdidas en el contenido de catequinas.

Los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen colombiano son sensibles a temperaturas mayores de 150 °C. Sin embargo, los provenientes de otros países se comportaron de manera atípica ya que a temperaturas mayores de 150 °C liberan grupos de catequina (Duque, 2020). Por lo tanto, se deberá considerar el lugar de origen para la determinación de los parámetros adecuados para el tostado ya que existe evidencia que el efecto de la temperatura del tostado en el contenido de catequina es variable según la procedencia de los granos de copoazú utilizados.

Contrario a las afirmaciones anteriores sobre la sensibilidad de los compuestos de catequina a temperatura elevadas, Hurst *et al.* (2011) destacan que el tostado a temperaturas mayores de 163 °C durante 25 minutos puede aumentar el contenido de catequina debido a la epimerización de la epicatequina a catequina. Además, Stanley *et al.* (2015) determinó que, a temperatura mayores de 150 °C, el contenido de catequina aumenta. No obstante, es relevante señalar que se necesita más investigación, especialmente en términos del perfil sensorial, ya que los compuestos generados podrían no ser bien aceptados por los consumidores.

En la comparación de varias muestras de contenido de catequina (Anexo 19) se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de tostado de T₁, T₃ y T₄ ($p < 0,05$), como efecto conjunto de la presión y la temperatura. En los tratamientos T₀ y T₂ se determinó que existen diferencias significativas. Cabe mencionar que todos los tratamientos de tostado en comparación del grano sin tostar, se evidenció la pérdida de contenido de catequina por efecto de la temperatura y presión.

4.3. ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LA PASTA DE COPOAZÚ

Se utilizó una prueba de aceptabilidad sensorial de la pasta de copoazú con catadores de cacao para los tratamientos de tostado ya que en el Perú no existe catadores especializados en copoazú, siendo el cacao del mismo género *Theobroma* se optó también por utilizar catadores especializados en cacao. Se obtuvo que la muestra presentada a los catadores alcanzó valores superiores a 5, con un valor promedio de $6,63 \pm 0,48$ y mediana de 6,75 (Anexo 20), para las muestras de pastas elaboradas con granos de copoazú tostados a 115 °C a 20 kPa. Considerando lo mencionado, el valor equivale entre “ni me agrada ni me desagrada” y “me agrada mucho”.

Las propiedades sensoriales mencionadas en los comentarios de los panelistas incluyeron color, apariencia, olor y sabor. Con respecto al color, todos los panelistas observaron un tono marrón a marrón rojizo y una apariencia ligeramente empolvada. Al principio, se percibía un olor a cacao con un ligero sobretostado, seguido de fragancias florales de baja intensidad con notas terrosas y al final un ligero olor a moho.

En relación con el sabor, se describieron notas herbales muy suaves con toques a lilas, frutas marrones, acidez frutal y frutas tropicales (chirimoya) al inicio de la evaluación sensorial; mientras que al final, se percibieron notas de madera clara y nueces dulces. De acuerdo con las propiedades sensoriales detalladas por los panelistas, Cajo y Díaz (2022) que es esencial comprender los parámetros óptimos de tostados de los granos de copoazú fermentados y secos.

Se identificó el mejor tratamiento de tostado para los granos de cacao fermentado y seco, aplicando una temperatura de 130 ° C por 20 minutos, lo cual logro una puntuación sobresaliente de 60 sobre 100 en la evaluación sensorial realizada por un panel entrenado de APPCACAO. Esto resultados respaldan la búsqueda de la obtención de una pasta de copoazú que no sea solo sensorialmente aceptable, sino también caracterizada por propiedades sensoriales específicas, como las mencionadas. Asimismo, se evaluaron atributos como acidez, amargor, olor, astringencia, sabor y aroma para determinar la puntuación global. En este contexto, Criollo *et al.* (2020) destaco la sensibilidad de los granos de copoazú fermentados y secos a altas temperaturas. En específico, se observó que el tratamiento a 120 y 130 °C presento defectos sensoriales, manifestando sabores característicos de granos quemados. Esto evidencia la relevancia de controlar las condiciones de procesamiento, especialmente la temperatura, para garantizar la calidad sensorial óptima en los productos derivados del copoazú.

Las variaciones en los perfiles sensoriales pueden atribuirse a la procedencia de los granos de copoazú. Los granos usados en Cajo y Díaz (2022) provenían de Puerto Maldonado en Madre de Dios, mientras que en Criollo *et al.* (2020) fueron de Caquetá, Colombia. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Cohen *et al.* (2003), quienes señalan que factores como el porcentaje de humedad, el proceso de beneficio previo al tostado, duración del tostado y la procedencia de los granos de copoazú pueden generar perfiles sensoriales distintos, incluso cuando los tratamientos son llevados a la misma temperatura y durante el mismo tiempo. Cohen *et al.* (2003) recomiendan realizar evaluaciones sensoriales ya que existe variaciones relacionadas con el origen del fruto y la falta de estandarización en los procesos para la obtención de los productos derivados a partir de los granos de copoazú.

Además, Chire (2019) destaca las preferencias de consumo de chocolates en Perú, donde la mayoría prefieren consumir chocolate de leche en comparación con chocolate oscuro por lo tanto se podría considerar realizar pruebas a consumidores en general con o sin la adicción de leche en polvo ya que los valores de aceptabilidad sensorial cambiarían según la preferencia de consumo en el país que se realice la evaluación sensorial. Además, se destaca la diferencia entre las calificaciones de consumidores nacionales y extranjeros, lo que resalta la necesidad de una evaluación adaptada a las costumbres de consumo específicas de cada grupo demográfico.

V. CONCLUSIONES

1. El grano de copoazú presentó dimensiones similares a las reportadas, los valores promedio en milímetros fueron: $27,16 \pm 0,61$; $21,33 \pm 0,62$ y $12,18 \pm 0,02$ de largo, ancho y espesor, respectivamente. La porosidad promedio fue de $0,64 \pm 0,06$. Para 100 granos de copoazú le correspondió un peso de $237,65 \pm 3,79$ gramos e índice de $2,38 \pm 0,04$ g/grano, que lo califica como grano “muy grande”. El porcentaje de testa en los granos de copoazú fermentados, secos y sin tostar fue de $27,22 \pm 0,19$ por ciento.
2. El grano de copoazú fermentado, seco y sin tostar, tuvo en porcentaje: $5,85 \pm 0,03$ de humedad; $10,07 \pm 0,02$ de proteína cruda; $58,71 \pm 0,06$ de grasa cruda; $2,17 \pm 0,01$ de ceniza y $23,20 \pm 0,01$ de carbohidratos totales, con $661,47 \pm 0,33$ kcal/100 g.
3. En el tostado la presión y la temperatura tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido de humedad de los granos de copoazú fermentados y secos. Para los tostados a 100 kPa con 95 y 115 °C, se reportaron humedades de $4,91 \pm 0,07$ y $3,79 \pm 0,08$ por ciento, respectivamente. Para los de 20 kPa con 95 y 115 °C se reportaron humedades de $3,60 \pm 0,05$ y $2,53 \pm 0,02$ por ciento, respectivamente, siendo próximo al valor óptimo de 2,5 por ciento.
4. En los cuatro tratamientos de tostado por 20 minutos de granos de copoazú fermentados y secos, la presión y la temperatura no tuvieron efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el color (índice de blancura), pero sí tuvieron efecto en el contenido de acidez titulable expresado en porcentaje de ácido acético, correspondiendo $1,37 \pm 0,03$ y $1,29 \pm 0,02$ para 100 kPa con 95 y 115 °C y $1,43 \pm 0,02$ y $1,31 \pm 0,02$ para 20 kPa con 95 y 115 °C.

Igual efecto se observó en el pH, correspondiendo valores de $5,65 \pm 0,02$; $5,81 \pm 0,01$; $5,43 \pm 0,01$ y $5,78 \pm 0,04$; así como en la capacidad antioxidante, con $24,70 \pm 0,15$; $15,90 \pm 0,21$; $44,80 \pm 0,12$ y $12,70 \pm 0,24$ $\mu\text{mol Eq. Trolox/g}$ de copoazú; y el contenido de catequina, $2,90 \pm 0,006$; $2,90 \pm 0,006$; $2,89 \pm 0,006$ y $2,93 \pm 0,006$ mg de catequina por gramo de copoazú, respectivamente. Por último, en el contenido de polifenoles, la presión tuvo un efecto significativo expresado en mg de polifenoles por gramo de copoazú, correspondiendo $36,64 \pm 1,95$ y $37,17 \pm 0,38$ para 100 kPa con 95 y 115 °C y $39,07 \pm 2,45$ y $38,30 \pm 1,81$ para 20 kPa con 95 y 115 °C.

VI. RECOMENDACIONES

- Determinar las variaciones de las características físicas de los granos de copoazú en la fermentación y secado.
- Determinar el efecto del desengrasado de los granos de copoazú con respecto al contenido de polifenoles y capacidad antioxidante.
- Evaluar las pérdidas de macronutrientes y el perfil de grasa que contiene la pasta de copoazú elaborada con granos tostados a partir del tratamiento con parámetros de 115 °C y 20 kPa.
- Identificar los efectos de la composición fisicoquímica y atributos sensoriales para garantizar la generación de compuestos aromáticos, perfil de ácidos grasos y color en la pasta de copoazú que se obtuvo por cada tratamiento de tostado realizado a diferentes temperaturas y tiempos.
- Realizar una sustitución de cacao por copoazú en el sucedáneo de chocolate y su efecto en la reología, color y aceptabilidad.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Afoakwa, E.; Paterson, A.; Fowler, M. (2008). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology*, 226(1): 1259-1268. DOI:10.1007/s00217-007-0652-6.
- Afoakwa, E.; Simpson, A.; Takrama, J.; Firibu, K. (2012). Influence of pulp - preconditioning and fermentation quality and appearance of Ghanaian cocoa. *International Food Research Journal*. 19(1): 127-133. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication>.
- Afoakwa, E.; Kongor, J.; Budu, A.; Mensah, H.; Takrama, J. (2015). Changes in some biochemical qualities during drying of Pulp pre-conditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 15(1):9651-9670. DOI: 10.18697/ajfand.68.13695.
- Afoakwa, E. (2016). Composición del grano de cacao y desarrollo del sabor del chocolate. *Chocolate Science and Technology*, 2(1): 196-198. DOI: 10.1002/9781118913758.ch5.
- AGROIDEAS. (2020). Mejoramiento de la Productividad, Extracción y Comercialización de la pulpa de Copoazú de la Asociación de Agricultores Agropecuarios. Recuperado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1467004/COPOAZÚ.pdf>
- Agroperú. (2 de julio del 2022). Madre de Dios: inauguran la primera planta procesadora de cacao y copoazú. Recuperado de <https://www.agroperu.pe/madre-de-dios-inauguran-primera-planta-procesadora-de-cacao-y-copoazú/>.
- Aldave, G. (2016). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS. (Tesis profesional para optar el grado de Magister en Ciencias de Los Alimentos, Universidad Nacional Mayor de San Marcos).

- Alegría, E. (2015). Evaluación de tratamientos previos al proceso de tostado de semillas de cacao para el diseño del área de producción de pasta de cacao (*Theobroma cacao*). (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador).
- Álvarez, C.; Pérez, E.; Lares, M. (2007). Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado de Aragua. *Agronomía Tropical*, 57(4): 249-256. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002192X200700040001.
- Álvarez, C.; Tovar, L.; García, H.; Morillo, F.; Sánchez, P.; Girón, C.; Farías, A. (2010). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *UDO Agrícola*, 10(1): 76-87. Recuperado de <https://www.bioline.org.br/request?cg10010>.
- Álvarez, D. (2020). Mecanismos de acción de los flavanoles del cacao en riñón y endotelio durante la diabetes. Estudio en cultivos celulares y animales de experimentación. (Tesis profesional para optar el grado de Doctor, Universidad Complutense de Madrid).
- Alviárez, G.; Murillo, A.; Murillo, P.; Rojano, A.; Méndez, J. (2016). Caracterización y extracción lipídica de las semillas del cacao amazónico (*Theobroma grandiflorum*). *Ciencia en Desarrollo*, 7(1): 103-109. DOI: 10.19053/01217488.4237.
- Andina. (4 de agosto del 2021). Productores organizados exportan 14 toneladas de granos de copoazú orgánico a Rusia. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-productores-organizados-exportan-14-toneladas-granos-copoazú-organico-a-rusia-856302.aspx>.
- Andina. (10 de mayo del 2022). Copoazú, la apuesta de las comunidades de Perú y otros 3 países por superfruto amazónico. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-copoazú-apuesta-las-comunidades-peru-y-otros-3-paises-superfruto-amazonico-892353>.
- Andrade, J.; Rivera, J.; Chire, G.; Ureña, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462>.

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist, Estados Unidos). (2016). Official Methods of Analysis of Association of AOAC International. 20 Edition. Latimer, GW. Maryland, USA. 3100 p.
- Armijos, A. (2002). Caracterización de acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (*Theobroma cacao* L.) fino y ordinario de producción Nacional durante la fermentación. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Química, Pontificia Universidad Católica de Ecuador).
- Arts, I.; Hollman, P.; Kromhout, D. (1999). Chocolate as a source of tea flavonoids. *The Lancet*, 354(9177): 488-490. DOI: 10.1016/S0140-6736(99)02267-9.
- Awua, P. (2002). Cocoa Processing and Chocolate Manufacture in Ghana. David Jamieson y Associates, 18(1): 1-144. DOI: 10.4236/wjet.2018.62015.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. México: Editorial Pearson Educación.
- Baena, L. y García, N. (2012). Obtención y caracterización de fibra dietaría a partir de la cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. de una industria chocolatera colombiana. (Tesis profesional para optar el grado de Químico Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira).
- Barisic, V.; Kopjar, M.; Jozinovic, A.; Flanjak, I.; Ackar, D.; Milicevic, B.; Subaric, D.; Jokie, S.; Babie, J. (2019). The chemistry behind chocolate production. In *Molecules*, 24(3163): 1-13. DOI: 10.3390/molecules24173163.
- Bartolini, S. (2022). Efecto del tostado al vacío sobre el contenido de ácido acético y color del Cacao (*Thebroma cacao* L.) CCN – 51. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina).
- Balarezo, L. y Villegas, J. (2019). Características físicas del fruto y químicas de la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Will ex Spreng. Schum) procedentes de los distritos de Inambari y Las Piedras de la provincia de Tambopata-Madre de Dios 2018. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional amazónica de Madre de Dios).

- Bermúdez, K. y Mendoza, C. (2016). Post-cosecha y secado del grano del cacao nacional fino y de aroma para la determinación de perfiles físicos, bromatológicos y organolépticos. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López).
- Bertorelli, G.; Camacho, G.; Graziani, L. (2004). Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Tropical*, 54(1): 31-43.
- Bitzer, Z.; Glisan, S.; Dorenkott, M.; Goodrich, K.; Ye, L.; O’Keefe, S. (2015). Cocoa procyanidins with different degrees of polymerization possess distinct activities in models of colonic inflammation. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 26(8): 827-831. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2015.02.007.
- BIOPAT. (2019). Copoazú. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. <https://indecopi.gob.pe/documents/3015875/4896671/Biopat+47/0bed5486-7172-0023-bc64-f7f04fc9ca64>.
- Brand, W.; Cuvelier, M.; Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss Technol.* 28(1): 25-30. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- Bravo, J.; Sanjuán, N.; Clemente, G.; Mulet, A. (2011). Pressure Effect on Deep Fat Frying of Apple Chips. *Drying Technology: An International Journal*, 29(4): 472 - 477. DOI: 10.1080/07373937.2011.560801.
- Brito, B.; Espín, S.; Paredes, N.; Vaillant, F.; Rodríguez, M.; Toledo, D. (2009). Potencial nutritivo, funcional y procesamiento de tres frutales amazónicos. *Revista del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador*, 2(1): 1-5. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2626>.
- Bonilla, J. (2014). Evaluación del tostado y desarrollo de chocolate de leche a partir de cacao (*Theobroma cacao*) variedad trinitario. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero en alimentos, Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/items/870a3ba4-0d27-4098-9758-95b6c235f3e8>.

- Cadena, T. y Herrera, Y. (2008). Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su actividad antioxidante. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniería Química, Universidad Nacional De Santander). Recuperado de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/128865.pdf>.
- Cajo, M. y Díaz, J. (2017). Determinación de los parámetros óptimos de tostado de la semilla de copoazú para la obtención de chocolate de copoazú – *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Amazónica de Madre De Dios). Recuperado de <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/457/045-2018-UNAMAD-VRI.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- Cajo, M. y Díaz, J. (2022). Determinación de parámetros óptimos de tostado de semilla de copoazú (*Theobroma grandiflorum* (willd ex spreng) schum) para la obtención de licor o pasta. Revista Agrotecnológica Amazónica, 2(1): 1-8. DOI: 10.51252/raa.v2i1.265.
- Castillo, S.; Castillo, H.; Giraldo, E.; Diaz, J.; Chañi, L.; Muñoz, M. (2020). Efecto de dietas balanceadas con harina de semillas de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) en el crecimiento de Paco (*Piaractus brachipomus cuvier*). IIAP, 30(1): 1-13. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12921/486>.
- Castro, R.; Hernández, J.; Marcilla, S.; Córdova, J.; Solari, F.; Chire, G. (2016). Efecto del contenido de grasa en la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante de *Theobroma cacao* L. “cacao”. Ciencia e Investigación. 19(1): 19-23. DOI: 10.15381/ci.v19i1.13623.
- Castro, Z. (2010). Caracterización del proceso de fermentación del grano de copoazú (*Theobroma grandiflorum* willd. ex Spreng). (Tesis profesional para optar el grado de Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia).
- Cengel, Y. 2006. Termodinámica. Editorial Mc Grown Hill. Séptima Edición.
- Chacko, S.; Thambi, P.; Kuttan, R.; Nishigaki, I. (2010). Beneficial effects of green tea: A literature review. Chinese Medicine, 5(1): 3-9. DOI: 10.1186/1749-8546-5-13.

- Chávez, J.; Tuxill, Y.; Jarvis, D. (2004). Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos, 2(1): 175 - 195. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10568/104991>.
- Chedea, V.; Braicu, C.; Socaciu, C. (2010). Antioxidant/prooxidant activity of a polyphenolic grape seed extract. Food Chemistry, 121(1): 132-139. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.12.020.
- Chire, G., Orosco, P., Valdivia, R., Ureña, M. (2014). Determinación de las propiedades físicas, químicas y termo-físicas de diferentes granos de cacao del Perú. CIBIA IX, 1(3):545-551. DOI:10.29019/enfoque.v10n4.462.
- Chire, G; Verona, P; Guzmán, J. (2016). Cambios en el color durante el beneficio del grano de cacao de Piura (*Theobroma cacao* L.) peruano procedente de Piura. Ciencia e Investigación, 19(1): 29-34. DOI:10.15381/ci.v19i1.13625.
- Chire, G. (2019). Mejora de propiedades físicas y su efecto en el contenido de ácidos grasos en chocolate peruano aplicando superficie de respuesta. (Tesis profesional para optar el grado de Doctoris Philosophiae en Nutrición, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4098>.
- Cohen, K.; Luccas, V.; Sousa, M.; Jackix, M. (2003). Processamento tecnológico das amêndoas de cacau e de cupuaçu. Embrapa, 34(1):35-56. Recuperado de <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/406024>.
- Cohen, K. y Jackix, M. (2005). Estudo do liquor de cupuacu. Food Science Technology, 25(1): 182-190. DOI:10.1590/S0101-20612005000100030.
- Contreras, J. y Pérez, M. (2017). Instructivo para el control de calidad de granos de cacao. Recuperado de https://www.swisscontact.org/_Resources/Persistent/5/6/1/6/5616ce94e66df97f365ec26cdf9ad999fef0bc18/InstructivoControlCalidad.pdf.
- Cornelli, U. (2009). Antioxidant uses in nutraceuticals. Clin Dermatol, 27(1):175-194.
- Creus, E. (2004). Compuestos fenólicos, un análisis de sus beneficios para la salud. Ámbito farmacéutico, 23(1): 80-84. Recuperado de <https://www.elsevier.es/>.

- Criollo, J.; Criollo, D.; Sandoval, A. (2010). Fermentación de la almendra de copoazú (*Theobroma grandiflorum*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2):107-115. Recuperado de https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num2_art:200.
- Criollo, J.; Criollo, D.; Sandoval, A.; Méndez, J. (2020). Efecto de la dinámica de tostado sobre las propiedades del licor de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng. Schum.). *Acta Agronómica*, 69(4):285-292. DOI: 10.15446/acag.v69n4.87583.
- Cross, E. (2004). Factores que afectan el desarrollo del sabor a cacao, bases bioquímicas del perfil aromático, Taller Internacional de Calidad Integral de Cacao. Quevedo EC, 20(1): 15-17. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1718>.
- Cucaita, N.; Hernández, M.; Gutiérrez, R. (2014). Comparison between chocolate and as analog product made from copoazú (*Theobroma grandiflorum*). *Acta Horticulturae*, 1047(1):231-236. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1047.28.
- Cuellar, L.; Cuellar, N.; Galeano, P.; Suárez, J. (2017). Efecto del tiempo de fermentación sobre el contenido fenólico y el potencial antioxidante en granos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*). *Agroindustria y ciencia de los alimentos*, 66(4):473-479. DOI: 10.15446/acag.v66n4.61821.
- Cumana, L. y Rondón, R. (2005). Revisión taxonómica del género *theobroma* (*Sterculiaceae*) en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28(1): 113-134. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86228107>.
- Cunha, E.; Araujo, G.; Henrique, J.; Oliveira, E. (2021). Determination of thermophysical properties of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) dry almonds. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 7(2): 2527 – 2539. DOI:10.18540/jcecv17iss2pp11955-01-12e.
- Cuse, J.; Cutipa, L.; Lima, V. (2021). Cinética de la degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*). *Revista Agrotecnología Amazónica*, 1(1):4-19. DOI: 10.51252/raa.v1i1.113.

- Delgado, J.; Mandujano, J.; Reátegui, D.; Ordoñez, E. (2018). Desarrollo de chocolate oscuro con nibs de cacao fermentado y no fermentado: polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante y evaluación sensorial. *Scientia Agropecuaria*, 9(4): 543–550. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.10.
- De la cruz, A. (2017). Estabilidad térmica y capacidad antioxidante de extracto de té verde incorporado en micropartículas de maltodextrina. (Tesis profesional para optar el grado de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo). Recuperado de https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/1040/1/Tesis_De%20La%20Cruz%20Molina%20Almara%20Vocctoria_MC-2017.pdf.
- Demir, V.; Gunhan, T.; Yagcioglu, T. (2007). Mathematical modeling of convection drying of green table olives. *Biosystems Engineering*, 98(1):47-53. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.06.011.
- Díaz, S. y Pinoargote, M. (2012). Análisis de las características organolépticas del chocolate a partir de cacao CCN-51 tratado enzimáticamente y tostado a diferentes temperaturas. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero, Escuela Superior Politécnica del Litoral).
- Díaz, R. y Hernández, M. (2020). Theobromas de la Amazonia Colombiana: una alternativa saludable. *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi*, 31(2): 3-10. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000200003>.
- Dirección Regional de Agricultores de Madre de Dios. (2022). Producción de copoazú en la Región de Madre de Dios del 2015 al 2022. Recuperado de <https://www.dramdd.gob.pe/?s=copoazú>.
- Durazzo, A.; Lucarini, M.; Souto, E.; Cicala, C.; Caiazzo, E.; Izzo, A.; Novellino, E.; Santini, A. (2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*, 33(1): 2221–2243. DOI:10.1002/ptr.6419.

- Duque, C. (2020). Efecto de la temperatura sobre el contenido de antioxidantes en un chocolate blanco con polifenoles. (Tesis profesional para optar el grado de Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Pamplona). Recuperado de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4693/1/Duque_2020_TG.pdf.
- Erazo, C.; Gallegos, W.; Coral, K.; Arisqueta, L. (2021). Diseño de un fermentador y secador solar piloto para dos variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el cantón el Empalme provincia del Guayas. (Tesis profesional para optar el grado de Químico Industrial, Universidad Internacional SEK Ecuador).
- Facco, R.; Harumi, E.; de Oliveira, A.; Heck, R.; Valle, M.; Martins, L.; Venturini, M. (2018). Stability, sensory attributes, and acceptance of panettones elaborated with *Lactobacillus fermentum* IAL 4541 and *Wickerhamomyces anomallus* IAL 4533. *Food Research International*, 119: 973-984. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.09.035.
- Fan, G.; Xu, E.; Deng, M.; Zhao, Z.; Niu, A. (2015). Phenylpropanoid metabolism, hormone biosynthesis and signal transduction-related genes play crucial roles in the resistance of *Paulownia fortunei* to paulownia witches broom phytoplasma infection. *BMC Genomics*, 16(1): 896- 912. DOI: 10.1007/s13258-015-0321-2
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros). (2004). Beneficio y características fisicoquímicas del cacao. *Produmedios*, 33(1): 1-32.
- Gadkari, P. y Balaraman, M. (2015). Catechins: Sources, extraction and encapsulation. *Food and Bioproducts Processing*, 93(2): 122-138. DOI: 10.1016/j.fbp.2013.12.004.
- Gálvez, C. (4 de marzo de 2020). INACAL promueve producción de copoazú de calidad en la Amazonia. Recuperado de <https://www.inacal.gob.pe/principal/noticia/inacal-promueve-produccion-de-copoazú-calidad>.
- Galeano, P. (2011). Actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos de diferentes clones de copoazú (*Thebroma grandiflorum*). *Momentos de ciencia*, 8(2): 118-125. Recuperado de <https://www.uniamazonia.edu.co/documentos/docs/Vicerectoria%20de%20Investigaciones%20y%20Posgrados/Publicaciones/Revistas/Momentos%20de%20Ciencia/2011/Volumen%208%20No.%202/118-125.pdf>.

- Galeano, P.; Cuellar, L.; Schinella, G. (2012). Influencia del procesamiento del grano de copoazú (*Theobroma grandiflorum*), sobre la actividad antioxidante y el contenido fenólico. *Vitae*, 19(1): 285-287. Recuperado de <https://www.redalyc.org/>.
- García, A.; Quintana, L.; Moreno, E. (2022). Determinación del índice de grano y del porcentaje de cascarilla de los fenotipos de cacao regional FSV41, FEAR5, FLE2 y genotipo universal CCN51. *Ingeniería y competitividad*, 24(2): 1-11. Recuperado de <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i2.11420>.
- García, L. (2012). Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú. Ministerio Nacional de Agricultura. Perú. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima, Perú.
- García, C. (2000). Grupos y variedades de cacao en Cultivo del cacao en la amazonia peruana. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Lima, Perú. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/>.
- Garsón, G. (2008). Las antocianinas como colorants naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3):27-36. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300002.
- Giacometti, J.; Jolie, S.; Josie, D. (2015). Cocoa processing and impact on composition. In *Processing and Impacto on Active Components in Food*, 73(1): 605-612. DOI:10.1016/B978-0-12-404699-3.00073-1.
- Gilbert, E. (2007). Medida de la luz y el color. Valencia, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Gil, J. (2012). Estabilidad y actividad antioxidante de catequinas presentes en cacaos colombianos durante los procesos de pre e industrialización. (Tesis profesional para optar el grado de Doctor, Universidad de Antioquia). Recuperado de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1621/1/GilQuinteroJorgeAndres_2012_%20EstabilidadActividadAntioxidante.pdf.
- Granvogl, M.; Bagan, S.; Schieberle, P. (2006). Formation of Amines and Aldehydes from Parent Amino Acids during Thermal Processing of Cocoa and Model Systems: New Insights into Pathways of the Strecker Reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(1):1730–1739. DOI: 10.1021/jf0525939.

- Godoy, S. (2014). Elaboración de una bebida a partir de pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Schum). (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero de Alimentos, Universidad Nacional del Callao).
- González M.; Miranda, M.; Duconge, J. (2012). The bio-energetic theory of carcinogenesis. *Medical Hypotheses*, 79(1): 433-439. DOI: 10.1016/j.mehy.2012.06.015.
- Guerrero, M. (2005). Influencia de las condiciones de secado por aire caliente en la variación de la densidad real y la porosidad de rodajas de manzana variedad delicia *Malus domestica borckh*. (Tesis profesional para optar el grado de Maestro Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina).
- Gutiérrez, M. (2018). Tecnología de tostado del grano de cacao. *Cámara Peruana del Café y Cacao*, 15(6): 1-11.
- Hassan, O.; Nasarudim, R.; Lee, S. (2004). Extracts of cacao (*Theobroma Cacao* L.) leaves and their antioxidation potential. *Food Chemistry*, 86(1): 41-46. DOI: 10.1016/j.foodchem.2003.08.026.
- Hernández, M. y Barrera, J. (2004). Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de especies nativas de la Amazonia. *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas de Colombia*, 4(1): 70-92. DOI: 20.500.12324/12843.
- Herrera, M.; Reveles, L.; Velásquez, R. (2016). Cambios en el metabolismo de los fenilpropanoides en plantas de Chile tipo mirasol infectadas por fitoplasma. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, 79(1): 1-42. Recuperado de <http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/Fenilpropanoides.pdf>.
- Huayama, P. y Siche, R. (2020). Efecto de la variedad, frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en el rendimiento y calidad de granos de cacao, evaluado mediante visión computacional. *Agroindustrial Science*, 10(3): 287-292. DOI: 10.17268/agroind.sci.2020.03.10.
- Hurst, W.; Krake, S.; Bergmeier, S.; Payne, M.; Miller, K.; Stuart, D. (2011). Impact of fermentation, drying, roasting and dutch processing on flavan-3-ol-stereochemistry in cacao beans and cocoa ingredients. *Chemistry Central Journal*, 5(1): 1-53. DOI:10.1186/1752-153X-5-53.

- Hurtado, B. (2023). Optimización del tostado de cacao (*Theobroma cacao* L.) en placa y tambor para retención de polifenoles aplicando superficie de respuesta. (Tesis profesional para optar el grado de Maestro Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos).
- INACAL (2021). Norma Técnica Peruana NTP 012.901 (1ª Edición). 2021. Copoazú (*Theobroma grandiflorum*). Pulpa congelada. Requisitos. 2021-09-20. Lima, Perú.
- INIAP. (2010). Boletín Técnico 135-INIAP: Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del cacao en el Norte oriente de la provincia de Esmeraldas, Quevedo-Ecuador. Quevedo.
- Jean-Marie, E.; Jiang, W.; Bereau, D. (2022). *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*: botany, composition and pharmacological activities of pods and seeds. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/foods11243966>.
- Jiménez, J.; Mendoza, L.; Ramírez, M. (2017). Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cascaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). Revista de actualidad y divulgación científica, 20(1):131-138. DOI:10.31910/rudca.v20.n1.2017.70.
- Jinap, S. y Dimick, P. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. Journal of the Science of Food and Agriculture, 65(1):67-75. DOI: 10.1002/jsfa.2740650111.
- Jolic, S.; Redovnikovic, I.; Markovic, K.; Sipusic, D.; Delonga, K. (2011). Changes of phenolic compounds and antioxidant capacity in cocoa beans processing. International Journal of Food Science y Technology, 46(9): 1793-1800. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02670.x.
- Kim, D.; Lee, K.; Lee, H.; Lee, C. (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolics phytochemicals. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(1): 3713-3717. DOI:10.1021/jf020071c.
- Krysiak, W. (2006). Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans. Journal of Food Engineering, 77(3):449-453. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.07.013.

- Krysiak, W. (2011). Effects of convective and microwave roasting on the physicochemical properties of cocoa beans and cocoa butter extracted from this material. *Institute of Chemical Technology of Food*, 62(4):450-458. DOI:10.3989/gya.114910.
- Lares, M; Pérez, E.; Álvarez, C.; Perozo, J.; Khori, S. (2013). Cambios de las propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos de Chuao, durante en beneficio. *Agronomía Tropical*, 63(1):37-47. DOI: 10.3389/fimmu.2017.01207.
- Lemarcq, V.; Monteverde, V.; Tuentler, E.; Walle, D.; Pieters, L.; Sioriki, E.; Dewettinck, K. (2022). Flavor diversification of dark chocolate produced through microwave roasting of cocoa beans. *Food Science and Technology*, 159(1):1-11. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113198.
- Lemus, M.; Graziani, L.; Bertorelli, O.; Trujillo, A. (2001). Efecto del mezclado de cacaos tipo criollo y forastero de la localidad de Cumbote sobre algunas características físicas de los granos durante la fermentación. *Agronomía Tropical*, 52(1):45-58. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7425033>.
- Lewis, M. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. Zaragoza, España, ACRIBIA.
- Lohman, M. y Hartel, R. (1994). Effect of Milk Fat Fractions on Fat Bloom in Dark Chocolate. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 71(3): 267-276. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02638052>.
- Loureiro, G.; Araujo, Q.; Sodre, G.; Valle, R.; Souza, J.; Ramos, E. (2016). Cacao quality: Highlighting selected attributes. *Food Reviews International*, 33(1): 382-405. DOI:10.1080/87559129.2016.1175011.
- Lujano, E.; Manganiello, L.; Contento, A.; Rios, A. (2019). Identification and quantification of (+) - catechins and procyanidins in cocoa from ocumare de la costa, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 26(2):192- 201. DOI:10.31910/rudca.v20.n1.2017.70.

- Maceda, F. y Dea, L. (2019). Evaluación de los parámetros óptimos de temperatura y tiempo durante el proceso de tostado en tambor rotatorio y estufa para la obtención de la pasta de copoazú (*Theobroma grandiflorum*), en la provincia de tambopata-mdd. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios). Recuperado de <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/491/004-2-1-035.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Mantilla, L. (5 de mayo de 2022). Re: Andina [Comentario en un foro en Línea]. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-copoazú-apuesta-las-comunidades-peru-y-otros-3-paises-superfruto-amazonico-892353.aspx>.
- Manzur, A. y Cardoso, J. (2015). Velocidad de evaporación del agua. *Revista Mexicana de Física*, 61(1):31-34.
- Martínez, I. y Periago, M. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1): 5-18. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-0622200000010001.
- Mattia, C.; Sacchetti, G.; Mastrocola, D.; Serafini, M. (2017). From cocoa to chocolate: The impact of processing on in vitro antioxidant activity and the effects of chocolate on antioxidant markers in vivo. *Frontiers in Immunology* 8(1): 1–7. DOI: 10.3389/fimmu.2017.01207.
- Medrano, S. (2010). Obtención de deshidratados de borojó (*Borojoa patinol*) y copoazú (*Theobroma grandiflorum*) mediante procesos térmicos de secado con aire forzado. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2291>.
- Melgarejo, L.; Hernández, M.; Barrera, J.; Carrillo, M. (2006). Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género theobroma en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica. *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-Sinchi*, 10(1): 63-77. Recuperado de <https://sinchi.org.co/oferta-y-potencialidades-de-un-banco-de-germoplasma-del-genero-theobroma-en-el-enriquecimiento-de-los-sistemas-productivos-de-la-region-amazonica>.

- Meyer, B.; Biehl, B.; Bin, M.; Samarakoddy, R. (1989). Post-harvest pod storage: A method for pulp preconditioning to impair strong nib acidification during cocoa fermentation in Malaysia. *J. Science Food Agriculture*, 48(1):285-304. DOI: 10.1002/jsfa.2740480305
- Michel, R.; Izeta, A.; Lira, F.; Marín, S.; Vázquez, J.; Cerda, S.; Calderón, L. (2016). El chocolate oscuro y los polifenoles nuestros de cada día. *Revista Sanidad Militar de México*, 1(70): 17-22. Recuperado de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4693/1/Duque_2020_TG.pdf.
- Misnawi, J. y Teguh, W. (2010). Cocoa Chemistry and Technology (Roles of Polyphenols and enzymes reactivation in flavour development of under-fermented cocoa beans. Lambert Academic Publishing, 15(1):66-69. Recuperado de <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20133175462>.
- Montoya, J.; Giraldo, G.; Aguirre, J. (2012). Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 19(1): 415-416. DOI:10.21897/rta.v19i2.736.
- Motta, L. (2010). Competitividad y sostenibilidad de la Agroindustria del copoazú (*Theobroma grandiflorum*) en Madre de Dios. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios).
- Munin, A. y Levy, E. (2011). Encapsulation of natural polyphenolic compounds. A Review, 3(4):793-829. DOI: 10.3390/pharmaceutics3040793
- Ndukwu, M.; Simonyan, K.; Ndirika, V. (2012). Investigation of the structural changes of cocoa beans (with and without seed coat) during convective drying. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(3):75-81. DOI: 10.3965/j.ijabe.20120503.009.
- Nogales, J.; Graziani, L.; Ortiz, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. *Agronomía Tropical*, 56(1): 5-20.

- Oliviero, T.; Capuano, E.; Cammerer, B.; Fogliano, V. (2009). Influence of roasting on the antioxidant activity and HMF formation of a cocoa bean model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(1): 147-152. DOI: 10.1021/jf802250j.
- Oliveira, T. y Genovese, I. (2013). Chemical composition of cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) and cocoa (*Theobroma cacao*) liquors and their effects on streptozotocin-induced diabetic rats. *Food Research International*, 51(1): 929-935. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.02.019.
- Oracz, J. y Nebesny, E. (2018). Effect of roasting parameters on physicochemical characteristics of high molecular weight Maillard reaction products isolated from cocoa beans of different *Theobroma cacao* L. groups. *Food Research and Technology*, 245(1):111-128. DOI: 10.1007/s00217-018-3144-y
- Orona, V.; Heredia, J.; Rangel, D.; Medina, G. (2016). Ácidos fenólicos con actividad antioxidante en salvado de maíz y salvado de trigo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(7):43-50. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90100005&script=sci_abstract.
- Ortiz, L.; Graziani, L.; Rovedas, G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía tropical*, 56(2):119-127. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X09000200001.
- Osman, H.; Nasarudin, R.; Lee, S. (2004). Extracts of cocoa (*Theobroma cacao* L.) leaves and their antioxidation potential. *Food Chemistry*, 86(1):41–46. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.026>.
- Pancardo, A. (2016). Efecto del procesamiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la capacidad antioxidante durante la obtención de licor y cocoa. (Tesis profesional para optar el grado de Magister en Ciencias Alimentarias, Universidad Veracruzana). Recuperado de <https://www.uv.mx/mca/files/2018/01/IQ.-Andres-Pancardo-Lagunas.pdf>.
- Pau, O. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimento a través del espacio CIELAB. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero de Industrias de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia).

- Pérez, F.; Ibarra, M.; Cogolludo, A.; Duarte, J.; Zaragozá, F.; Moreno, L.; López, G.; Tamargo J. (2002). Endothelium-independent vasodilator effects of the flavonoid quercetin and its methylated metabolites in rat conductance and resistance arteries. *J Pharmacol Exp Ther*, 302(1): 66-72. Recuperado de https://www.academia.edu/98591173/Endothelium_Independent_Vasodilator_Effects_of_the_Flavonoid_Quercetin_and_Its_Methylated_Metabolites_in_Rat_Conductance_and_Resistance_Arteries.
- Pérez, P. (2015). Comportamiento reológico de la pulpa tamizada de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*). (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional amazónica de Madre de Dios). Recuperado de <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/71/004-2-1-018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Phaniendra, A.; Jestadi, D.; Periyasamy, L. (2015). Free radicals: Properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1): 11-26. DOI:10.1007/s12291-014-0446-0.
- Plúa, J. y Cornejo, F. (2008). Diseño de una línea procesadora de cacao artesanal (*Theobroma cacao*). (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2400/1/4740.pdf>.
- Prior, R.; Wu, X.; Schaich, K. (2013). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(1): 4290 - 4302. DOI: 10.1021/jf0502698.
- Proyecto Especial Madre de Dios (PEMD). (8 de junio de 2021). Proyecto especial y Candela Perú apoyan a productores de copoazú de Tahuamanu. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/regionmadrededios/noticias/499416-proyecto-especial-y-candela-peru-apoyan-a-productores-de-copoazú-de-tahuamanu>.
- Portillo, E.; Graciani, L.; Cross, E. (2005). Efecto de algunos factores poscosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(4): 394-406. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100005.

- Pugliese, A.; Barberan, T.; Truchado, P.; Genovese, M. (2013). Flavonoids, proanthocyanidins, vitamin C, and antioxidant activity of theobroma grandiflorum pulp and seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11):2720-2728. DOI: 10.1021/jf304349u.
- Quintana, L.; Gómez, S.; García, A.; Martínez, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN 51, ICS 6 e ICS 95 en la montaña santandereana, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y ambiental*, 6(1): 253-265. DOI:10.22490/21456453.1284.
- Quinteros, V.; Quinteros, A.; Chumacero, J.; Castro, P. (2018). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en la aceptabilidad sensorial de pasta alimenticia de macambo (*Theobroma bicolor humb. y bonpl.*). *Agroindustrial Science*, 8(1):27-31. DOI:10.17268/agroind.sciendo.2018.01.04.
- Quiñones, M.; Miguel, M.; Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1): 76-89. Recuperado de https://scielo.isciii.es/scielo.php?scrsci_arttext&pid=S0212-16112012000100009.
- Quispe, L. (2013). Teobromina, cafeína y catequinas, en granos de cacao de Pucacaca y Huingoyacu e influencia del cacao CCN-51 y del beneficio. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Agraria De La Selva). Recuperado de <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/294/FIA-210.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ramli, N.; Hassan, O.; Said, M.; Samsudin, W.; Idris, N. (2006). Influencia de las condiciones de tostado en el sabor volátil de tostar los granos de cacao de Malasia. *Diario de procesamiento y conservación de Alimentos*, 30(1): 388-399. Recuperado de <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jam/117/1/proceso%20%20tostado.pdf>.
- Rejas, V. (2021). Cambios fisicoquímicos y organolépticos en el tostado del cacao. *Revista de investigación y sus alcances*, 5(11): 39-58. DOI:10.33996/revistaingenieria.v5i11.73.

- Rettig, M. y Hen, A. (2014). El color en los alimentos, un criterio de calidad notable. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Austral de Chile-Valdivia). Recuperado de <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/4110#:~:text=La%20importancia%20del%20color%20como,de%20valores%20comparables%20y%20reproducibles>.
- Reyes, H.; Vivas, J.; Romero, A. (2004). La calidad en el cacao y factores determinantes de la calidad. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP). Recuperado de <https://www.gbif.org/es/grscicoll/institution/5c897dea-195a-49b3-bec9-e2a7fd70047a>.
- Reyes, M. y Carrasco, C. (2019). The Anti-Cancer Effect of Quercetin: Molecular Implications in Cancer Metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1): 3177- 3179. DOI: 10.3390/ijms20133177.
- Rivera, J. (2018). Correlación de la porosidad con el grado de fermentación del grano de cacao peruano (*Theobroma cacao* L.). (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Agraria la Molina). Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3843/rivera-garcia-johan-cristian.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rodríguez, W. (2015). Efecto de la sustitución de cebada (*Hordeum vulgare*) por quinua (*Chenopodium quinoa*) y del pH inicial de maceración en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una cerveza tipo ale. (Tesis profesional para optar el grado de ingeniero, Universidad Privada Antenor Orrego). Recuperado de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/815/1/rodriguez_wilmer_caracteristicas_fisicoqu%3%8dmicas_cerveza.pdf.
- Rojas, A. (2010). Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). (Tesis profesional para optar el grado de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3367/87571797.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Rojas, A. y Villagra, J. (2016). Evaluación de los métodos de fermentación y secado para el beneficio de semilla del copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y sus efectos en la calidad de pasta de chocolate natural en la provincia de Tambopata. (Tesis profesional para optar el grado de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios). Recuperado de <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/212/004-2-1-21.pdf?sequence=1>.
- Rojas, S.; Zapata, J.; Pereira, A.; Varón, E. (1996). El cultivo de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) en el Piedemonte Amazónico colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 1(7): 1-16. DOI: 20.500.12324/31918.
- Ruiz, M. (2020). Evaluación paramétrica en tostado de cacao piurano con diseño factorial 3^k y determinación del perfil sensorial. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero Industrial y de sistemas, Universidad de Piura). Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4459/ING_2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Saj, S.; Durot, C.; Mvondo, K.; Tayo, K.; Avanatientcheu, M. (2017). Contribution of associated trees to long-term species conservation, carbon storage and sustainability: a functional analysis of tree communities in cacao plantations of central Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15(3):282-302. DOI:10.1080/14735903.2017.1311764.
- Salazar, L. (2022). Caracterización Físico - Mecánica del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) producido en Llaylla de la microcuenca del río Chalhuanayo, Satipo.). (Tesis profesional para optar el grado de Magister Scientiae en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5324/salazar-de-paz-luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Sánchez, J. (2006). Determinación de las propiedades físicas y químicas del copoazú (*Theobroma grandiflorum*). (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3373/1/P107%20Ref.3036.pdf>.

- Sánchez, A. (2020). Modelado del proceso de extracción del ácido acético con recuperación del disolvente orgánico. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniería química, Universidad Politécnica de Madrid).
- Santander, A.; Ortiz, E.; Piñeres, I.; Ariza, C.; Albis, A. (2019). Gasification study using TG-MS of carbonized copoazú (*Theobroma grandiflorum*). INGE CUC, 15(1):25-35. DOI:10.17981/ingecuc.15.1.2019.03.
- Santos, I. y Condurú, J. (2015). Comparación del rendimiento entre frutos de dos variedades de copoazú (*Theobroma grandiflorum*). Instituto de Pesquisa Económica Aplicada, 8(1): 1 – 31. DOI: 10.25100/iyc.v24i2.11586
- Santos, A. y Uría, M. (2020). Biochemical study of cupuacu fermentation (*Theobroma grandiflorum*). Científica Multidisciplinary Journal, 2(1):1-24. DOI:10.1080/14735903.2017.1311764.
- Saura-Calixto, F.; Serrano, J.; Goni, I. (2007) Intake and Bioaccessibility of Total Polyphenols in a Whole Diet. Food Chemistry, 101(1): 492-501. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.02.006.
- Schramm, D.; Wand, J.; Holt, R.; Ensunsa, J.; Gonsalves, J.; Lazarus, S.; Schmitz, H.; German, J.; Keen, C. (2001). Chocolate procyanidins decrease the leukotriene-prostacyclin ratio in humans and human aortic endothelial cells. Am Clin Nutr, 73(1):36-40. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11124747/>.
- Silva, F. y Silva, C. (2000). Colour changes in thermally processed cupuacu (*Theobroma grandiflorum*) puree: critical times and kinetics modelling. International Journal of Food Science and Technology, 34(1): 87 - 94. DOI: 10.1046/j.1365-2621.1999.00246.x.
- Souza, J.; Rocha, J.; Cartaxo, C.; Vasconcelos, M.; Álvares, V.; Nascimento, M.; Yomura, R.; Kaefer, S. (2020). Monitoring and Optimization of Cupuacu Seed Fermentation, Drying and Storage Processes. Microorganisms, 8(1314): 1-33. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091314>.

- Sotero, V.; Maco, M.; Vela, J.; Merino, C.; Dávila, E.; García, D. (2011). Evaluación de la actividad antioxidante y compuestos fenólicos en pulpa y semillas de cuatro frutales amazónicos de la familia *sterculiaceae*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(1): 66-74. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000100007.
- Stanley, T.; Smithson, A.; Neilson, A.; Anantheswaran, R.; Lambert, J. (2015). Analysis of cocoa proanthocyanidins using reserved phase high-performance liquid chromatography and electrochemical detection: Application to studies on the effect of alkaline processing. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 63(25): 5970-5975. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b02661.
- Taeye, C.; Caullet, G.; Eyamo, V.; Collin, S. (2017). Procyanidin A2 and its degradation products in raw, fermented and roasted cocoa. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(8): 1715-1723. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.02.006.
- Teng, H. y Chen, L. (2019). Polyphenols and bioavailability: an update. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1): 2040–2051. DOI: 10.1080/10408398.2018.1437023
- Todorovic, V.; Radojcic, I.; Todorovic, Z.; Jankovic, G.; Dodevska, M.; Sobajic, S. (2015). Polifenoles, metilxantinas y capacidad antioxidante de los chocolates producidos en Serbia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1(41): 137-143. DOI:10.1016/j.jfca.2015.01.018.
- Tonfack, F.; Teyomnou, W.; Tenyang, N.; Tiencheu, B.; Morfor, A.; Hako-Touko, B.; Ndomou, S.; Teboukeu, G.; LakshmiKaruna, M.; Zambou-Ngoufack, F.; Macaire-Womeni, H. (2018). Effect of traditional and oven roasting on the physicochemical properties of fermented cocoa beans. *Heliyon*, 4(1):1-17. DOI:10.1016/j.heliyon.2018.e00533.
- Torres, J. (2023). Evaluación química y fisicoquímica de cacao (*Theobroma cacao* L.). (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/6175/torres-pezo-jonathan-friso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Thompson, S.; Miller, K.; Lopez, A. (2001). Polyphenols in chocolate: is there a contribution to human health. *Food Research International*, 33(1): 449– 459. DOI:10.1016/S0963-9969(00)00069-7.
- Tunde, T. y Akintunde, B. (2007). Effect of moisture content and variety on selected physical properties of benniseed. *Agricultural Engineering International the CIGR Ejournal*. Recuperado de <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/10658/FP%2007%20021%20Tunde-Akintunde%20final%2029Nov2007.pdf?sequence=1>.
- Tzin, V. y Galili, G. (2010). The biosynthetic pathways for Shikimate and aromatic amino acids in *Arabidopsis thaliana*. *The Arabidopsis book*. 8(1): 1-18. DOI:10.1199/tab.0132.
- Ureña, M. (1990). Obtención de alimentos modelo partir de mezclas Bentonita, Glicerol y Agua para estudios de tratamientos térmicos. (Tesis profesional para optar el grado de Doctor, Universidad Politécnica de Valencia).
- Ureña, M.; Bernuy, N.; Sotelo, A.; Vilcanqui, F.; Paitan, E.; Vílchez, C. (2019). Galleta elaborada con harina de quinua, fibras del endospermo de tara y hojas de agave: Valor biológico y aceptabilidad global. *Scientia Agropecuaria*, 10(1):73-78. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-991720198&script=sci_abstract.
- Varón, E.; Rojas, S.; Pereira, A.; Zapata, J. (2015). *Theobroma grandiflorum* (Willdenow ex Sprengel Schumann). *Colciencias*, 1(2):112-119. DOI:10.51252/raa.v2i1.265.
- Vásquez, A.; Ovando, I.; Adriano, L.; Betancur, D.; Salvador, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3): 239-254. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222016000300010.
- Vega, F.; Rodríguez, J.; Escalona, H.; Lugo, E. (2016). Optimización del proceso de tostado de *Theobroma cacao var. Criollo* en función del perfil cromatográfico. *Centro de Investigación de Jalisco*, 3(1):1-6. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30990?mode=full>.

- Vera, J.; Vallejo, C.; Párraga, D.; Morales, W.; Macias, J.; Ramos, R. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2):21-34. DOI:10.18779/cyt.v7i2.187.
- Vignoli, J.; Bassoli, D.; Benassi, M. (2011). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3):863-868. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.07.008.
- Vilalba, F. (2003). Fragmentação mecânica de amêndoas de cupuaçu (*theobroma grandiflorum*) por meio de um beneficiador de cilindros. (Tesis profesional para optar el grado de Ingeniero de Alimentos, Universidad Estatal de Campinas).
- Villagra, J.; Rojas, A.; Montalván, P.; Llave, D.; Diaz, J.; Chañi, L. (2022). Tecnología de procesamiento de pasta de copoazú (*Theobroma grandiflorum*, Willd. ex Spreng. Schum.) en Madre de Dios: Parámetros del proceso, índice de fermentación y capacidad antioxidante. *Avances en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1):441-461. DOI: 10.21930/rcta.vol11_num2_art:200.
- Wu, D. y Sun, D. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control – a review. *Trends in food Science y Technology*, 29(1):5-20. DOI: 10.1016/j.tifs.2012.08.004
- Yang, H.; Protiva, P.; Cui, B.; Baggett, S.; Hequet, V.; Mori, S.; Kennelly, E. (2003). New Bioactive Polyphenols from *Theobroma grandiflorum* (Cupuacu). *Native produce*, 66(1): 1501-1504. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14640528/>.
- Yeretzian, C.; Jordan, A.; Badoud, R.; Lindinger, W. (2002). From the green bean to the cup of coffee: investigating coffee roasting by on-line monitoring of volatiles. *European Food Research and Technology*, 214(2):92-104. DOI:10.1007/s00217-001-0424-7
- Zahouli, I.; Simplicio, T.; Ban, L.; Adrien, M.; Gnopo, J. (2010). Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(1): 1564-1571. DOI:10.1111/j.1365-2621.2010.02302.x.

- Zambrano, A.; Gómez, A.; Ramos, G.; Romero, C.; Lacruz, C.; Rivas, E. (2010). Caracterización de parámetros físicos de calidad en almendras de cacao criollo, trinitario y forastero durante el proceso de secado. *Agronomía tropical*, 60(4):389-396. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2010000400009.
- Zapata, S.; Tamayo, A.; Rojano, B. (2015). Efecto del tostado sobre los metabolitos secundarios y la actividad antioxidante de clones de cacao colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1):7497-7507. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47836>.
- Zhang, D.; Boccara, M.; Motilal, L.; Mischke, S.; Johnson, E.; Butler, D.; Bailey, B.; Meinhardt, L. (2009). Molecular characterization of an earliest cacao (*Theobroma cacao* L.) collection from upper amazon using microsatellite DNA markers. *Tree Genetics y Genomes*, 5(4):595-607. DOI: 10.1007/s11295-009-0212-2
- Zzaman, F. y Yang, A. (2013). Physical and sensory analysis of high fiber bread incorporated with jackfruit rind flour. *Food Science and Technology*, 14(3):99-108. DOI:10.13189/fst.2013.010203

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

| | R₁ | R₂ | R₃ |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Largo (mm) | 26,75 ± 1,75 | 27,86 ± 2,12 | 26,86 ± 1,60 |
| Ancho (mm) | 20,63 ± 1,64 | 21,79 ± 1,03 | 21,58 ± 1,43 |
| Espesor (mm) | 12,35 ± 1,85 | 12,24 ± 2,01 | 11,96 ± 1,59 |
| Porosidad (%) | 0,71 | 0,62 | 0,60 |
| Índice de grano (g/grano) | 2,39 | 2,32 | 2,41 |
| Porcentaje de testa (%) | 27,47 | 27,15 | 27,02 |

ANEXO 2: PESO DE 100 GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

| Repetición | Peso (100 granos) g |
|---------------------|----------------------------|
| R ₁ | 239,12 |
| R ₂ | 232,45 |
| R ₃ | 241,37 |
| Promedio ± Desv. St | 237,65 ± 3,79 |

ANEXO 3: ANÁLISIS PROXIMAL Y CÁLCULO DE KILOCALORÍAS EN BASE HÚMEDA Y SECA DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

| Componente | R1 | R2 | R3 | \bar{X} | Ds | Kcal/g | R1 | R2 | R3 | \bar{X} | Ds | % |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|----------|
| Humedad | 5,84 | 5,83 | 5,89 | 5,85 | 0,03 | - | - | - | - | - | - | - |
| Proteína cruda | 10,09 | 10,05 | 10,07 | 10,07 | 0,02 | 4 | 40,36 | 40,20 | 40,28 | 40,28 | - | 6,09 |
| Grasa cruda | 58,66 | 58,77 | 58,70 | 58,71 | 0,06 | 9 | 527,94 | 528,93 | 528,30 | 528,39 | - | 79,88 |
| Ceniza | 2,17 | 2,17 | 2,16 | 2,17 | 0,01 | - | - | - | - | - | - | - |
| Carbohidratos totales | 23,24 | 23,18 | 23,18 | 23,20 | 0,03 | 4 | 92,96 | 92,72 | 92,72 | 92,80 | - | 14,03 |
| Total | | | | 100,00 | - | - | 661,26 | 661,85 | 661,30 | 661,47 | 0,33 | 100,00 |

| Componente | R1 | R2 | R3 | \bar{X} | Ds | Kcal/g | R1 | R2 | R3 | \bar{X} | Ds | % |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|----------|
| Proteína cruda | 10,71 | 10,67 | 10,70 | 10,70 | 0,02 | 4 | 42,86 | 42,69 | 42,80 | 42,78 | - | 6,09 |
| Grasa cruda | 62,30 | 62,41 | 62,37 | 62,36 | 0,06 | 9 | 560,68 | 561,68 | 561,36 | 561,24 | - | 79,88 |
| Ceniza | 2,30 | 2,30 | 2,30 | 2,30 | 0,01 | - | - | - | - | - | - | - |
| Carbohidratos totales | 24,68 | 24,62 | 24,63 | 24,64 | 0,03 | 4 | 98,73 | 98,46 | 98,52 | 98,57 | - | 14,03 |
| Total | | | | 100,00 | - | - | 702,27 | 702,82 | 702,69 | 702,60 | 0,29 | 100,00 |

ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADOS DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Humedad

Factores: Presión (kPa) - Temperatura (°C)

Efectos estimados para Humedad (%)

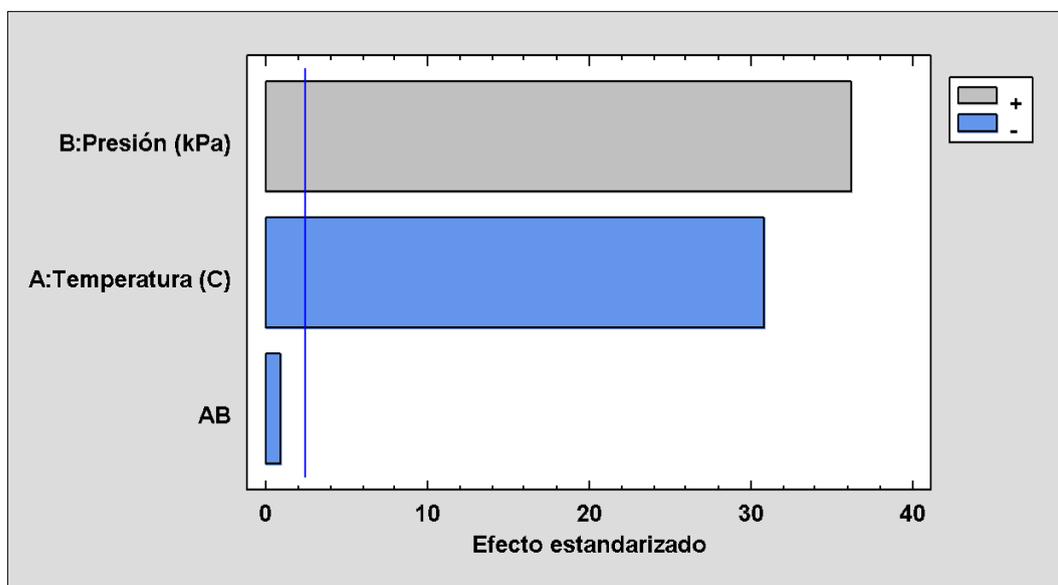
| <i>Efecto</i> | <i>Estimado</i> | <i>Error Estd.</i> | <i>V.I.F.</i> |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| Promedio | 3,70833 | 0,0177495 | |
| A: Temperatura (°C) | -1,09333 | 0,0354991 | 1,0 |
| B: Presión (kPa) | 1,28667 | 0,0354991 | 1,0 |
| AB | -0,03 | 0,0354991 | 1,0 |
| Bloque | -0,0216667 | 0,0502033 | 1,33333 |
| Bloque | -0,0316667 | 0,0502033 | 1,33333 |

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Análisis de Varianza para Humedad (%)

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: Temperatura (°C) | 3,58613 | 1 | 3,58613 | 948,57 | 0,0000 |
| B: Presión (kPa) | 4,96653 | 1 | 4,96653 | 1313,70 | 0,0000 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 0,0027 | 1 | 0,0027 | 0,71 | 0,4305 |
| bloques | 0,00431667 | 2 | 0,00215833 | 0,57 | 0,5930 |
| Error total | 0,0226833 | 6 | 0,00378056 | | |
| Total (corr.) | 8,58237 | 11 | | | |

Diagrama de Pareto Estandarizada para Humedad (%)



ANEXO 5: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Humedad

Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Humedad por tratamiento

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 19,5978 | 4 | 4,89946 | 1685,59 | 0,0000 |
| Intra grupos | 0,0290667 | 10 | 0,00290667 | | |
| Total (Corr.) | 19,6269 | 14 | | | |

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

| <i>Tratamiento</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| 115 °C – 20 kPa (T ₂) | 3 | 2,53333 | X |
| 95 °C – 20 kPa (T ₁) | 3 | 3,59667 | X |
| 115 °C – 100 kPa (T ₄) | 3 | 3,79 | X |
| 95 °C – 100 kPa (T ₃) | 3 | 4,91333 | X |
| Sin tostar (T ₀) | 3 | 5,85333 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|------------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| 95 °C – 20 kPa / 115 °C – 20 kPa | * | 1,06333 | 0,0980833 |
| 95 °C – 20 kPa / 95 °C – 100 kPa | * | -1,31667 | 0,0980833 |
| 95 °C – 20 kPa / 115 °C – 100 kPa | * | -0,193333 | 0,0980833 |
| 95 °C – 20 kPa / Sin tostar | * | -2,25667 | 0,0980833 |
| 115 °C – 20 kPa / 95 °C – 100 kPa | * | -2,38 | 0,0980833 |
| 115 °C – 20 kPa / 115 °C – 100 kPa | * | -1,25667 | 0,0980833 |
| 115 °C – 20 kPa / Sin tostar | * | -3,32 | 0,0980833 |
| 95 °C – 100 kPa / 115 °C – 100 kPa | * | 1,12333 | 0,0980833 |
| 95 °C – 100 kPa / Sin tostar | * | -0,94 | 0,0980833 |
| 95 °C – 100 kPa / Sin tostar | * | -2,06333 | 0,0980833 |

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE BLANCURA DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Índice de blancura

Factores: Presión (kPa) - Temperatura (°C)

Efectos estimados para Índice de blancura

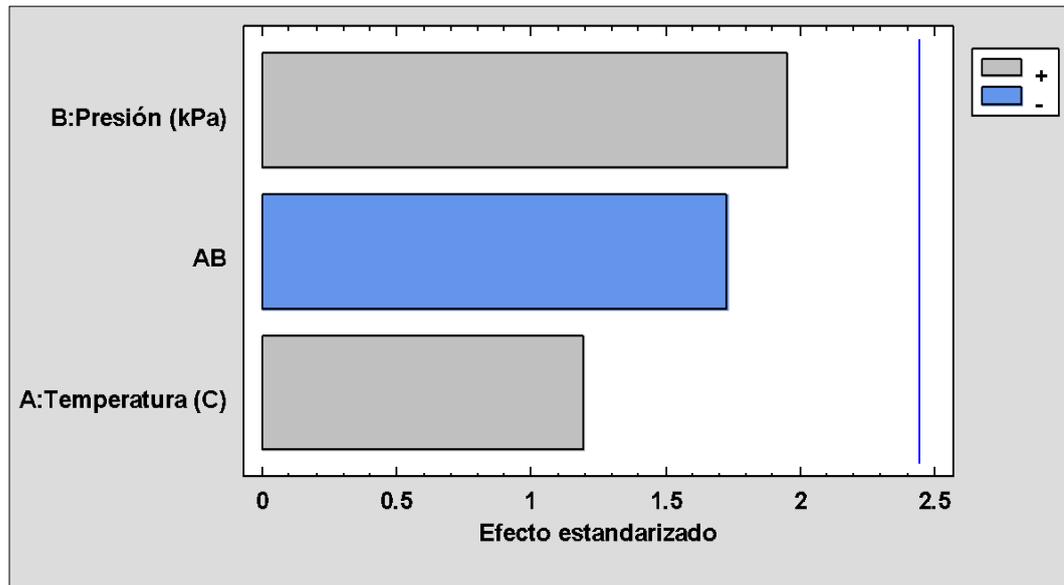
| <i>Efecto</i> | <i>Estimado</i> | <i>Error Estd.</i> | <i>V.I.F.</i> |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| promedio | 39,715 | 0,204303 | |
| A: Temperatura (°C) | 0,486667 | 0,408605 | 1,0 |
| B: Presión (kPa) | 0,796667 | 0,408605 | 1,0 |
| AB | -0,706667 | 0,408605 | 1,0 |
| bloque | 0,065 | 0,577855 | 1,33333 |
| bloque | -0,21 | 0,577855 | 1,33333 |

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Análisis de Varianza para índice de blancura

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales | | | | | |
| A: Temperatura (°C) | 0,710533 | 1 | 0,710533 | 1,42 | 0,2786 |
| B: Presión (kPa) | 1,90403 | 1 | 1,90403 | 3,80 | 0,0991 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 1,49813 | 1 | 1,49813 | 2,99 | 0,1345 |
| bloques | 0,06935 | 2 | 0,034675 | 0,07 | 0,9338 |
| Error total | 3,00525 | 6 | 0,500875 | | |
| Total (corr.) | 7,1873 | 11 | | | |

Diagrama de Pareto Estandarizada para el índice de blancura



ANEXO 7: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL ÍNDICE DE BLANCURA DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: índice de Blancura

Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para índice de blancura por Tostado

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 4,86983 | 4 | 1,21746 | 3,42 | 0,0524 |
| Intra grupos | 3,56347 | 10 | 0,356347 | | |
| Total (Corr.) | 8,43329 | 14 | | | |

Pruebas de Múltiple Rangos para índice de blancura por Tostado

Método: 95.0 porcentaje LSD

| <i>Tostado</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| 95 °C - 20 kPa (T ₁) | 3 | 38,72 | X |
| 115 °C - 20 kPa (T ₂) | 3 | 39,9133 | X |
| 115 °C - 100 kPa (T ₄) | 3 | 40,0033 | X |
| 95 °C - 100 kPa (T ₃) | 3 | 40,2233 | X |
| Sin tostar (T ₀) | 3 | 40,2767 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|-----------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 20 kPa | * | -1,19333 | 1,08601 |
| 95 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | * | -1,50333 | 1,08601 |
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C – 100 kPa | * | -1,28333 | 1,08601 |
| 95 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | -1,55667 | 1,08601 |
| 115 °C - 20 kPa/ 95 °C – 100 kPa | | -0,31 | 1,08601 |
| 115 °C - 20 kPa/ 115 °C – 100 kPa | | -0,09 | 1,08601 |
| 115 °C - 20 kPa/ sin tostar | | -0,363333 | 1,08601 |
| 95 °C - 100 kPa/ 115 °C - 100 kPa | | 0,22 | 1,08601 |
| 95 °C - 100 kPa/ sin tostar | | -0,0533333 | 1,08601 |
| 115 °C - 100 kPa/ sin tostar | | -0,273333 | 1,08601 |

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ACIDEZ TITULABLE DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Acidez titulable (% ácido acético)

Factores: Presión (kPa) - Temperatura (°C)

Efectos estimados para Acidez titulable (% ácido acético)

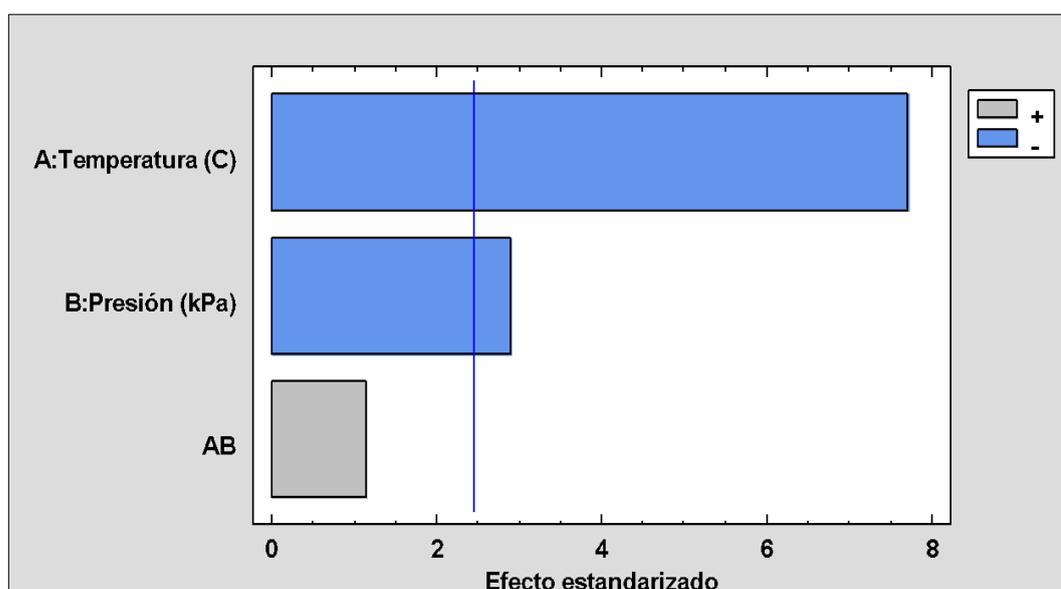
| <i>Efecto</i> | <i>Estimado</i> | <i>Error Estd.</i> | <i>V.I.F.</i> |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| Promedio | 1,34917 | 0,00659686 | |
| A: Temperatura (°C) | -0,101667 | 0,0131937 | 1,0 |
| B: Presión (kPa) | -0,0383333 | 0,0131937 | 1,0 |
| AB | 0,015 | 0,0131937 | 1,0 |
| bloque | 0,00666667 | 0,0186587 | 1,33333 |
| bloque | -0,0233333 | 0,0186587 | 1,33333 |

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Análisis de Varianza para Acidez titulable (% ácido acético)

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales | | | | | |
| A: Temperatura (°C) | 0,0310083 | 1 | 0,0310083 | 59,38 | 0,0003 |
| B: Presión (kPa) | 0,00440833 | 1 | 0,00440833 | 8,44 | 0,0271 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 0,000675 | 1 | 0,000675 | 1,29 | 0,2989 |
| bloques | 0,000866667 | 2 | 0,000433333 | 0,83 | 0,4807 |
| Error total | 0,00313333 | 6 | 0,000522222 | | |
| Total (corr.) | 0,0400917 | 11 | | | |

Diagrama de Pareto Estandarizada para la Acidez titulable (% ácido acético)



ANEXO 9: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL PORCENTAJE DE ACIDEZ (% ÁCIDO ACÉTICO) DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Acidez titulable (% ácido acético)

Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para Acidez titulable (% ácido acético) por Tostado

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 0,111707 | 4 | 0,0279267 | 57,38 | 0,0000 |
| Intra grupos | 0,00486667 | 10 | 0,000486667 | | |
| Total (Corr.) | 0,116573 | 14 | | | |

Pruebas de Múltiple Rangos para Acidez titulable (% ácido acético) por Tostado

Método: 95.0 porcentaje LSD

| <i>Tostado</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|-----------------|--------------|--------------|--------------------------|
| 115 °C-100 kPa | 3 | 1,28667 | X |
| 115 °C - 20 kPa | 3 | 1,31 | X |
| 95 °C - 100 kPa | 3 | 1,37333 | X |
| 95 °C - 20 kPa | 3 | 1,42667 | X |
| Sin tostar | 3 | 1,52667 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|-----------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 20 kPa | * | 0,116667 | 0,0401341 |
| 95 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | * | 0,0533333 | 0,0401341 |
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C – 100 kPa | * | 0,14 | 0,0401341 |
| 95 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | -0,1 | 0,0401341 |
| 115 °C - 20 kPa/ 95 °C – 100 kPa | * | -0,0633333 | 0,0401341 |
| 115 °C - 20 kPa/ 115 °C – 100 kPa | | 0,0233333 | 0,0401341 |
| 115 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | -0,216667 | 0,0401341 |
| 95 °C - 100 kPa/ 115 °C - 100 kPa | * | 0,0866667 | 0,0401341 |
| 95 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | -0,153333 | 0,0401341 |
| 115 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | -0,24 | 0,0401341 |

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA DE pH DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: pH

Factores: Presión (kPa) - Temperatura (°C)

Efectos estimados para pH

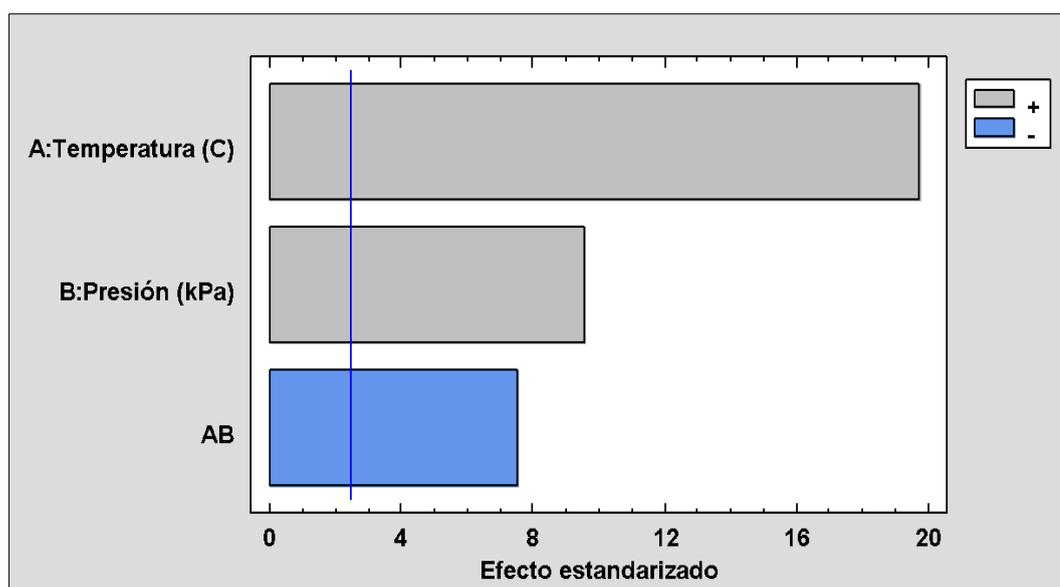
| <i>Efecto</i> | <i>Estimado</i> | <i>Error Estd.</i> | <i>V.I.F.</i> |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| promedio | 5,6675 | 0,00654401 | |
| A: Temperatura (°C) | 0,258333 | 0,013088 | 1,0 |
| B: Presión (kPa) | 0,125 | 0,013088 | 1,0 |
| AB | -0,0983333 | 0,013088 | 1,0 |
| bloque | -0,015 | 0,0185093 | 1,33333 |
| bloque | 0,0 | 0,0185093 | 1,33333 |

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Análisis de Varianza para pH

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales | | | | | |
| A: Temperatura (°C) | 0,200208 | 1 | 0,200208 | 389,59 | 0,0000 |
| B: Presión (kPa) | 0,046875 | 1 | 0,046875 | 91,22 | 0,0001 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 0,0290083 | 1 | 0,0290083 | 56,45 | 0,0003 |
| bloques | 0,00045 | 2 | 0,000225 | 0,44 | 0,6645 |
| Error total | 0,00308333 | 6 | 0,000513889 | | |
| Total (corr.) | 0,279625 | 11 | | | |

Diagrama de Pareto Estandarizada para el pH



ANEXO 11: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA EL pH DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: pH

Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para pH por Tostado

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 0,771133 | 4 | 0,192783 | 370,74 | 0,0000 |
| Intra grupos | 0,0052 | 10 | 0,00052 | | |
| Total (Corr.) | 0,776333 | 14 | | | |

Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Tostado

Método: 95.0 porcentaje LSD

| Tostado | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|----------------|-------|---------|-------------------|
| Sin tostar | 3 | 5,21333 | X |
| 115 °C-20 kPa | 3 | 5,42667 | X |
| 95 °C-100 kPa | 3 | 5,65 | X |
| 115 °C-20 kPa | 3 | 5,78333 | X |
| 115 °C-100 kPa | 3 | 5,81 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------------------------------|------|------------|-------------|
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 20 kPa | * | -0,356667 | 0,0414858 |
| 95 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | * | -0,223333 | 0,0414858 |
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | * | -0,383333 | 0,0414858 |
| 95 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | 0,213333 | 0,0414858 |
| 115 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | * | 0,133333 | 0,0414858 |
| 115 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | | -0,0266667 | 0,0414858 |
| 115 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | 0,57 | 0,0414858 |
| 95 °C - 100 kPa/ 115 °C - 100 kPa | * | -0,16 | 0,0414858 |
| 95 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | 0,436667 | 0,0414858 |
| 115 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | 0,596667 | 0,0414858 |

* indica una diferencia significativa

ANEXO 12: DETERMINACIÓN DE LOS POLIFENOLES EXTRAÍBLES POR TRATAMIENTO REALIZADO A LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

| Tratamiento | Absorbancias | | | Concentración (equivalente ácido gálico) ppm | | | Concentración de polifenoles extraíbles mg de ácido gálico/ g de copoazú desengrasado | | | Promedio ± Desv. St |
|------------------|--------------|-------|-------|--|---------|---------|---|-------|-------|---------------------|
| | | | | | | | | | | |
| Sin tostar | 0,158 | 0,179 | 0,182 | 351,111 | 397,778 | 404,444 | 38,93 | 44,11 | 44,85 | 42,6 ± 3,2 |
| 95 °C - 20 kPa | 0,165 | 0,182 | 0,186 | 366,667 | 404,444 | 413,333 | 36,28 | 40,02 | 40,90 | 39,1 ± 2,5 |
| 95 °C - 100 kPa | 0,157 | 0,174 | 0,170 | 348,889 | 386,667 | 377,778 | 34,45 | 38,18 | 37,30 | 36,6 ± 2,0 |
| 115 °C - 20 kPa | 0,163 | 0,178 | 0,176 | 362,222 | 395,556 | 391,111 | 36,22 | 39,56 | 39,11 | 38,3 ± 1,8 |
| 115 °C - 100 kPa | 0,167 | 0,17 | 0,170 | 371,111 | 377,778 | 377,778 | 36,73 | 37,39 | 37,39 | 37,2 ± 0,4 |

ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS POLIFENOLES DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: polifenoles

Factores: Presión (kPa) - Temperatura (°C)

Efectos estimados para los polifenoles

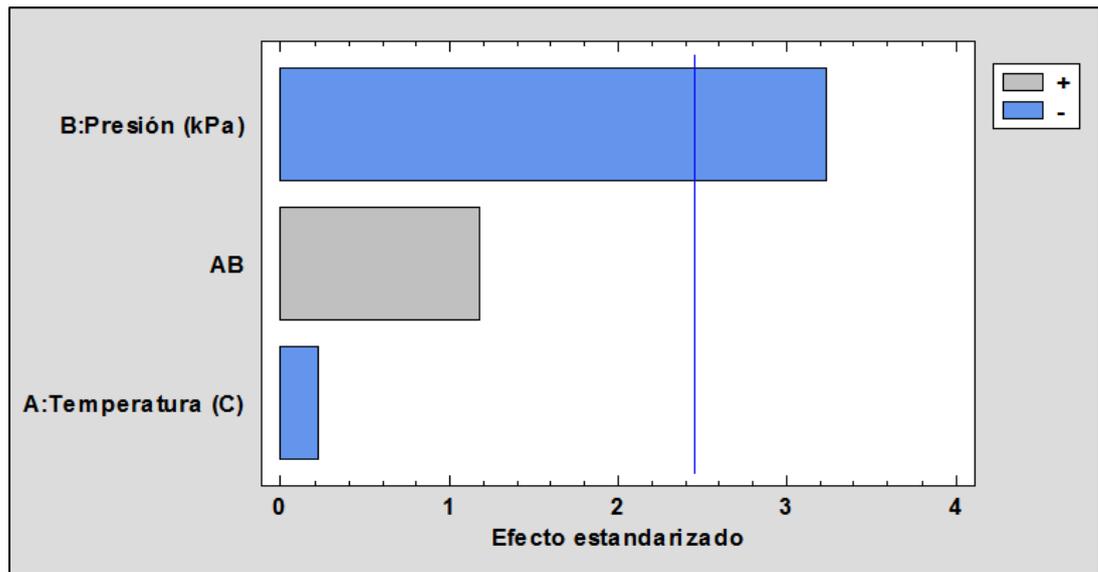
| <i>Efecto</i> | <i>Estimado</i> | <i>Error Estd.</i> | <i>V.I.F.</i> |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| promedio | 37,7942 | 0,273833 | |
| A: Temperatura (°C) | -0,121667 | 0,547666 | 1,0 |
| B: Presión (kPa) | -1,775 | 0,547666 | 1,0 |
| AB | 0,648333 | 0,547666 | 1,0 |
| bloque | 1,98667 | 0,774517 | 1,33333 |
| bloque | 1,76167 | 0,774517 | 1,33333 |

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Análisis de Varianza para los polifenoles

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales | | | | | |
| A: Temperatura (°C) | 0,044083 | 1 | 0,0444083 | 0,05 | 0,8316 |
| B: Presión (kPa) | 9,45188 | 1 | 9,45188 | 10,50 | 0,0177 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 1,26101 | 1 | 1,26101 | 1,40 | 0,2813 |
| bloques | 21,1003 | 2 | 10,5502 | 11,72 | 0,0085 |
| Error total | 5,39888 | 6 | 0,899814 | | |
| Total (corr.) | 37,2885 | 11 | | | |

Diagrama de Pareto Estandarizada para los polifenoles



ANEXO 14: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA LOS POLIFENOLES DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: polifenoles

Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para los polifenoles por Tostado

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 66,882 | 4 | 16,7205 | 3,53 | 0,0479 |
| Intra grupos | 47,308 | 10 | 4,7308 | | |
| Total (Corr.) | 114,19 | 14 | | | |

Pruebas de Múltiple Rangos para los polifenoles por Tostado

Método: 95.0 porcentaje LSD

| Tostado | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|----------------|-------|---------|-------------------|
| Sin tostar | 3 | 42,63 | X |
| 95 °C-20 kPa | 3 | 39,0667 | X |
| 95 °C-100 kPa | 3 | 36,6433 | X |
| 115 °C-20 kPa | 3 | 38,2967 | X |
| 115 °C-100 kPa | 3 | 37,17 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------------------------------|------|------------|-------------|
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 20 kPa | | 0,77 | 3,95699 |
| 95 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | | 2,42333 | 3,95699 |
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | | 1,89667 | 3,95699 |
| 95 °C - 20 kPa/ sin tostar | | 3,56333 | 3,95699 |
| 115 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | | -1,65333 | 3,95699 |
| 115 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | | 1,12667 | 3,95699 |
| 115 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | 4,33333 | 3,95699 |
| 95 °C - 100 kPa/ 115 °C - 100 kPa | | -0,526667 | 3,95699 |
| 95 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | 5,98667 | 3,95699 |
| 115 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | 5,46 | 3,95699 |

* indica una diferencia significativa

ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Capacidad antioxidante

Factores: Presión (kPa) - Temperatura (°C)

Efectos estimados para la capacidad antioxidante

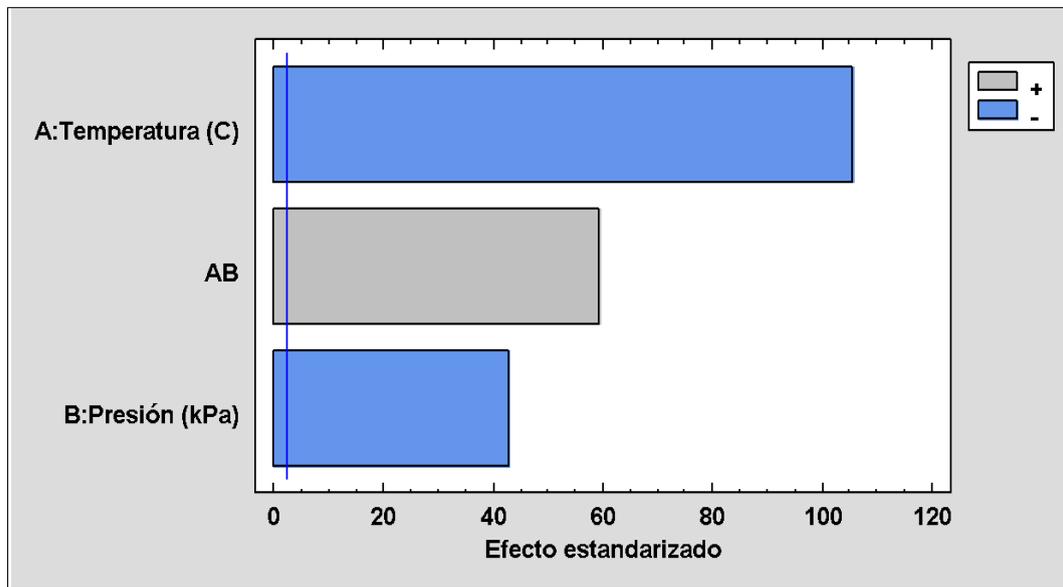
| Efecto | Estimado | Error Estd. | V.I.F. |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| promedio | 24,3892 | 0,0959009 | |
| A: Temperatura (°C) | -20,2517 | 0,191802 | 1,0 |
| B: Presión (kPa) | -8,19833 | 0,191802 | 1,0 |
| AB | 11,365 | 0,191802 | 1,0 |
| bloque | 0,501667 | 0,271249 | 1,33333 |
| bloque | 0,281667 | 0,271249 | 1,33333 |

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Análisis de Varianza para la capacidad antioxidante

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales | | | | | |
| A: Temperatura (°C) | 1230,39 | 1 | 1230,39 | 11148,48 | 0,0000 |
| B: Presión (kPa) | 201,638 | 1 | 201,638 | 1827,03 | 0,0000 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 387,49 | 1 | 387,49 | 3511,02 | 0,0000 |
| bloques | 0,944617 | 2 | 0,472308 | 4,28 | 0,0700 |
| Error total | 0,662183 | 6 | 0,110364 | | |
| Total (corr.) | 1821,12 | 11 | | | |

Diagrama de Pareto Estandarizada para la capacidad antioxidante



ANEXO 16: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS PARA LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: índice de Blancura

Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para capacidad antioxidante por tratamiento de Tostado

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 14156,8 | 4 | 3539,2 | 18893,19 | 0,0000 |
| Intra grupos | 1,87327 | 10 | 0,187327 | | |
| Total (Corr.) | 14158,7 | 14 | | | |

Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad antioxidante por tratamiento de Tostado

Método: 95.0 porcentaje LSD

| <i>Tostado</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| 115 °C - 20 kPa | 3 | 12,68 | X |
| 115 °C - 100 kPa | 3 | 15,8467 | X |
| 95 °C - 100 kPa | 3 | 24,7333 | X |
| 95 °C - 20 kPa | 3 | 44,2967 | X |
| Sin tostar | 3 | 96,0867 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 20 kPa | * | 31,6167 | 0,787404 |
| 95 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | * | 19,5633 | 0,787404 |
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | * | 28,45 | 0,787404 |
| 95 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | -51,79 | 0,787404 |
| 115 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | * | -12,0533 | 0,787404 |
| 115 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | * | -3,16667 | 0,787404 |
| 115 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | -83,4067 | 0,787404 |
| 95 °C - 100 kPa/ 115 °C - 100 kPa | * | 8,88667 | 0,787404 |
| 95 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | -71,3533 | 0,787404 |
| 115 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | -80,24 | 0,787404 |

* indica una diferencia significativa

ANEXO 17: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CATEQUINAS POR TRATAMIENTO REALIZADO A LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

| Tratamiento | Absorbancias | | | mg de catequina/litro de solución | | | mg de catequina/gramos de copoazú | | | Promedio ± Desv. St |
|--------------------|---------------------|-------|-------|--|--------|--------|--|-------|-------|----------------------------|
| Sin tostar | 0,065 | 0,068 | 0,065 | 29,315 | 29,318 | 29,315 | 3,251 | 3,251 | 3,251 | 3,251 ± 0,0002 |
| 95 °C - 20 kPa | 0,071 | 0,070 | 0,071 | 29,321 | 29,320 | 29,321 | 2,895 | 2,895 | 2,895 | 2,895 ± 0,0001 |
| 95 °C - 100 kPa | 0,071 | 0,072 | 0,071 | 29,321 | 29,322 | 29,321 | 2,901 | 2,901 | 2,901 | 2,901 ± 0,0001 |
| 115 °C - 20 kPa | 0,073 | 0,072 | 0,073 | 29,323 | 29,322 | 29,323 | 2,932 | 2,932 | 2,932 | 2,932 ± 0,0001 |
| 115 °C - 100 kPa | 0,066 | 0,065 | 0,064 | 29,316 | 29,315 | 29,314 | 2,901 | 2,901 | 2,901 | 2,901 ± 0,0001 |

ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CATEQUINA DE LOS TRATAMIENTOS DE TOSTADO DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Contenido de catequina

Factores: Presión (kPa) - Temperatura (°C)

Efectos estimados para el contenido de catequina (mg/g)

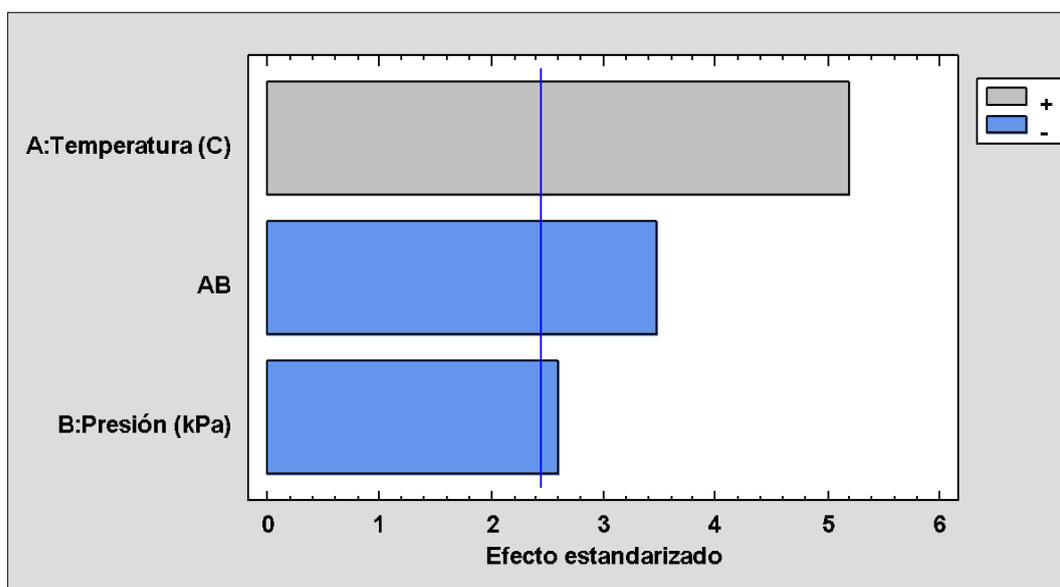
| <i>Efecto</i> | <i>Estimado</i> | <i>Error Estd.</i> | <i>V.I.F.</i> |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| promedio | 2,905 | 0,0019245 | |
| A: Temperatura (°C) | 0,02 | 0,003849 | 1,0 |
| B: Presión (kPa) | -0,01 | 0,003849 | 1,0 |
| AB | -0,0133333 | 0,003849 | 1,0 |
| bloque | 0,0 | 0,00544331 | 1,33333 |
| bloque | 0,0 | 0,00544331 | 1,33333 |

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Análisis de Varianza para el contenido de catequina (mg/g)

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales | | | | | |
| A: Temperatura (°C) | 0,0012 | 1 | 0,0012 | 27,00 | 0,0020 |
| B: Presión (kPa) | 0,0003 | 1 | 0,0003 | 6,75 | 0,0408 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 0,000533333 | 1 | 0,000533333 | 12,00 | 0,0134 |
| bloques | 0,0 | 2 | 0,0 | 0,00 | 1,0000 |
| Error total | 0,000266667 | 6 | 0,0000444444 | | |
| Total (corr.) | 0,0023 | 11 | | | |

Diagrama de Pareto Estandarizada para el contenido de catequina (mg/g)



ANEXO 19: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIAS MUESTRAS DEL CONTENIDO DE CATEQUINA DE LOS GRANOS DE COPOAZÚ FERMENTADOS Y SECOS

Variable dependiente: Contenido de catequina (mg/g)

Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 15

Número de niveles: 5

Tabla ANOVA para el contenido de catequina (mg/g) por Tostado

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 0,29324 | 4 | 0,07331 | 2199,30 | 0,0000 |
| Intra grupos | 0,000333333 | 10 | 0,0000333333 | | |
| Total (Corr.) | 0,293573 | 14 | | | |

Pruebas de Múltiple Rangos el contenido de catequina (mg/g) por Tostado

Método: 95.0 porcentaje LSD

| <i>Tostado</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| 95 °C - 20 kPa | 3 | 2,89333 | X |
| 95 °C - 100 kPa | 3 | 2,89667 | X |
| 115 °C - 100 kPa | 3 | 2,90333 | X |
| 115 °C - 20 kPa | 3 | 2,92667 | X |
| Sin tostar | 3 | 3,25333 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|-----------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 20 kPa | * | -0,0333333 | 0,0105036 |
| 95 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | | -0,00333333 | 0,0105036 |
| 95 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | | -0,01 | 0,0105036 |
| 95 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | -0,36 | 0,0105036 |
| 115 °C - 20 kPa/ 95 °C - 100 kPa | * | 0,03 | 0,0105036 |
| 115 °C - 20 kPa/ 115 °C - 100 kPa | * | 0,0233333 | 0,0105036 |
| 115 °C - 20 kPa/ sin tostar | * | -0,326667 | 0,0105036 |
| 95 °C - 100 kPa/ 115 °C - 100 kPa | | -0,00666667 | 0,0105036 |
| 95 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | -0,356667 | 0,0105036 |
| 115 °C - 100 kPa/ sin tostar | * | -0,35 | 0,0105036 |

* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 20: DATOS DE EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL PARA
LA PASTA DE COPOAZÚ**

| Panelista | Valor |
|------------------|--------------|
| 1 | 6.5 |
| 2 | 7.0 |
| 3 | 7.0 |
| 4 | 6.0 |

Resultados estadísticos:

| | |
|-------------------|------|
| Promedio | 6,63 |
| Desv. Std. | 0,48 |
| Mediana | 6,75 |