

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



CALIDAD SENSORIAL, FENOLES TOTALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA - TÉRMICA EN CAFÉ (*Coffea arabica*)
CATURRA Y GEISHA LIOFILIZADOS

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:

VILLANUEVA MANCILLA FREDY FAUSTO

Tingo María – Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail; fiia@unas.edu.pe

"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 001-2023

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 6 de febrero del 2023, a horas 11:00 a.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bach. **FREDY FAUSTO VILLANUEVA MANCILLA**, titulada:

"CALIDAD SENSORIAL, FENOLES TOTALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA - TÉRMICA EN CAFÉ (*Coffea arabica*) CATURRA Y GEISHA LIOFILIZADO".

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **...APROBADO...** con el calificativo de **...MUY BUENA...**; en consecuencia, el sustentante, queda apto para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 6 de febrero del 2023

M.Sc. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Presidenta

Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Miembro

M.Sc. Luz Milagros Follegatti Romero
Miembro

Dr. Roberto Davila Trujillo
Asesor

Ing. Katty Giovanna Natividad Barreto
Asesora



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 198 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

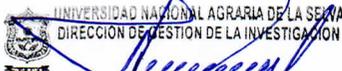
Ingeniería en Industrias Alimentarias

Tipo de documento:

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CALIDAD SENSORIAL, FENOLES TOTALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA - TÉRMICA EN CAFÉ (Coffea arabica) CATURRA Y GEISHA LIOFILIZADOS	VILLANUEVA MANCILLA, FREDY FAUSTO	19 % Diecinueve

Tingo María, 25 de julio de 2023



Dr. Tomás Menacho Mallqui
DIRECTOR

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Facultad	: Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.
Título de tesis	: Calidad sensorial, fenoles totales, capacidad antioxidante y caracterización morfológica - térmica en café (<i>Coffea arabica</i>) caturra y geisha liofilizado.
Autor	: Villanueva Mancilla, Fredy Fausto
Asesor de tesis	: Dr. Roberto Dávila Trujillo Ing. Katty Giovanna Natividad Barreto
Escuela Profesional	: Ingeniería en Industrias Alimentarias.
Programa de investigación	: Ingeniería de alimentos.
Línea(s) de investigación	: Ingeniería de alimentos.
Eje Temático	: Nanotecnología
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Duración	: Inicio : Diciembre 2020 Término : Junio 2021
Financiamiento	: FEDU : No. Propio : S/. 6572.40

Tingo María, Perú, Julio 2023.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Roberto Dávila Trujillo'.

Dr. Roberto Dávila
Trujillo
Asesor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Katty Giovanna Natividad Barreto'.

Ing. Katty Giovanna
Natividad Barreto
Asesor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fredy Fausto Villanueva Mancilla'.

Villanueva Mancilla,
Fredy Fausto
Tesisista

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



CALIDAD SENSORIAL, FENOLES TOTALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA - TÉRMICA EN CAFÉ (*Coffea arabica*)
CATURRA Y GEISHA LIOFILIZADOS

Autor	: Fredy Fausto Villanueva Mancilla
Asesores	: Dr. Roberto Dávila Trujillo Ing. Katty Natividad Barreto
Programa de investigación	: Ingeniería de Alimentos
Línea de investigación	: Ingeniería de Alimentos
Eje temático	: Nanotecnología
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: Propio

Tingo María - Perú 2023

DEDICATORIA

A DIOS Por concederme la vida, brindarme sabiduría para resolver cada obstáculo que se presentó y fuerza para no rendirme en ningún momento, durante mi formación profesional y en el trayecto de mi vida.

A mi madre Rogelia Mancilla De La Cruz: pasaste como una estrella fugaz en mi vida, pero tu luz brillará por siempre en mi corazón, gracias por haberme hecho la persona que soy.

A mi familia: nada de lo que yo haga me alcanzará para pagar las maravillosas cosas que han hecho por mí a lo largo de mi vida, lo que me enseñaron, a sus consejos, su gran amor y la fe que siempre tienen en mí.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por permitirme la oportunidad de realizarme como profesional.
- A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, a los docentes por compartir sus conocimientos, a las secretarias y todo el personal que trabaja; por su apoyo incondicional durante toda mi formación profesional.
- Al CITE Agroindustrial Huallaga del Instituto Tecnológico de la Producción por permitir afianzar mis conocimientos en esta etapa de mi formación profesional.
- A mi asesora Ing. Katy Natividad Barreto, del CITE Agroindustrial Huallaga por todo su enseñanza, guía, apoyo y dedicación desde la concepción hasta la culminación de este trabajo de investigación.
- A mis tías Yolanda, Ricardina, Hugo, Percy Alberto por el apoyo y la solidaridad durante la ejecución de esta investigación.
- A mis amistades por su apoyo moral e incondicional y compañerismo durante la ejecución de esta investigación y en la etapa universitaria.
- Al Laboratorio Central de investigación (LCI), por su apoyo en los análisis de microscopía electrónica y térmicos.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Generalidades del café	2
2.1.1. Definición	2
2.1.2. Origen	2
2.2. Generalidades del café tostado molido	3
2.2.1. Definición	3
2.2.2. Características químicas del café tostado	3
2.3. Café tostado molido	4
2.4. Liofilización	4
2.5. Café liofilizado	5
2.6. Atributos en catación	6
2.7. Calidad de taza	8
2.8. Polifenoles y capacidad antioxidante del café	8
2.8.1. Polifenoles	8
2.8.2. Capacidad antioxidante	9
2.9. Calorimetría	11
2.9.1. Análisis Térmico	11
2.9.2. Análisis Termogravimétrico	11
2.10. Microscopio electrónico de barrido (MEB)	12
2.10.1. Análisis morfológico	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Lugar de ejecución	14
3.2. Muestra	14
3.3. Equipos, materiales y reactivos	14
3.3.1. Equipos de laboratorio	14
3.3.2. Materiales de laboratorio	15
3.3.3. Reactivos	15
3.4. Métodos de análisis	15
3.5. Metodología experimental	16
3.5.1. Proceso para obtención de café tostado molido	16
3.5.2. Proceso para obtención de café liofilizado	16

3.5.3. Evaluación sensorial.....	17
3.5.4. Cuantificación de capacidad antioxidante	18
3.5.5. Evaluación de polifenoles totales	18
3.5.6. Análisis térmico por termogravimetría (TGA/DTG).....	18
3.5.7. Caracterización morfológica.....	19
3.6. Diseño experimental	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	21
4.1. Evaluación sensorial de café tostado molido y liofilizado a tres temperaturas de congelación	21
4.2. Capacidad antioxidante del café tostado molido y liofilizado	25
4.2.1. Capacidad antioxidante por método DPPH.....	25
4.2.2. Capacidad de inhibir el radical libre ABTS•+.....	26
4.3. Contenido de polifenoles totales del café liofilizado y tostado molido	27
4.4. Comportamiento térmico de café tostado molido y liofilizado de las variedades geisha y caturra	29
4.5. Características morfológicas del café liofilizado de las variedades geisha y caturra.....	33
V. CONCLUSIONES	36
VI. RECOMENDACIONES.....	37
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	38
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Clasificación de los compuestos fenólicos	99
2. Resultados de análisis sensorial de los atributos de café tostado molido y liofilizado	22
3. Resultado de capacidad antioxidante por el método DPPH	25
4. Resultado de capacidad antioxidante por el método ABTS	26
5. Resultado de polifenoles totales	28
6. Comportamiento térmico de café geisha tostado molido y liofilizado	29
7. Comportamiento térmico de café caturra tostado molido y liofilizado	32
8. Caracterización morfológica de café liofilizado (catarra y geisha) por microscopía electrónica de barrido	334

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de fases del agua y sistemas del sacado.....	5
2. Café liofilizado	6
3. Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante	10
4. Estructura del ABTS ^{o+} antes y después de la reacción con el antioxidante	11
5. Curva de descomposición térmica.....	12
6. Estructura de las partículas de café liofilizado obtenidas por MEB.....	13
7. Café Caturra y Geisha.....	14
8. Diagrama de flujo para obtención de café tostado molido	20
9. Diagrama de flujo para obtención de café liofilizado.....	23
10. Esquema experimental de investigación.....	26
11. Representación radial de la evaluación sensorial del café liofilizado y tostado molido. ...	27
12. Capacidad antioxidante de café liofilizado y tostado molido (geisha y caturra) por el método DPPH.....	28
13. Capacidad antioxidante de café liofilizado y tostado molido (Geisha y Caturra) por el método ABTS.....	30
14. Contenido de polifenoles totales de café liofilizado y tostado molido (Geisha y Caturra)	33
15. TGA / DTG de café geisha tostado y liofilizado	35
16. TGA / DTG de café caturra tostado y liofilizado	353
17. Morfología y distribución granulométrica del café liofilizado. CL -30°C (A, C) Caturra y (GL -30°C) (B, D) Geisha	355

RESUMEN

El café se comercializa en distintas presentaciones entre ellos es el tostado molido y liofilizado, Sin embargo, esta amplia variedad de opciones ha generado la necesidad de realizar estudios para evaluar la calidad sensorial; caracterización morfológica; térmica; cuantificación de polifenoles y capacidad antioxidante. La liofilización de los sólidos solubles extraídos fue evaluado a temperaturas de congelamiento de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. La evaluación sensorial el café tostado molido y el tratamiento liofilizado a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ obtuvieron calificaciones de “excelente” en las dos variedades evaluadas. El liofilizado de la variedad Geisha obtuvo el mayor contenido de polifenoles ($22.0 \pm 0.03\text{ mg EAG/g}$) y la variedad caturra presentó mayor capacidad antioxidante ($\text{DPPH} = 0.51 \pm 0.01\text{ mmol ET/g}$; $\text{ABTS} = 0.89 \pm 0.01\text{ mmol ET/g}$). Las partículas liofilizadas presentaron formas poliédricas irregulares, con diámetro promedio mayor en la variedad Caturra ($66,05\text{ }\mu\text{m}$) comparada a la variedad Geisha ($56,26\text{ }\mu\text{m}$). El análisis termogravimétrico indicó la región de descomposición del polímero de mayor tamaño, para Geisha tostada molida un $43,73\%$ se degrado entre $205,50 - 349,26\text{ }^{\circ}\text{C}$, Geisha liofilizada un $44,84\%$ de masa en $216,53$ hasta $359,87\text{ }^{\circ}\text{C}$, respecto a la variedad Caturra, el tratamiento tostado molido obtuvo degradación en $214,92$ hasta $344,69\text{ }^{\circ}\text{C}$ con 42.73% de masa y el liofilizado alcanzó $46,74\%$ entre $207,20 - 359,79\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estos hallazgos contribuyen a una mejor comprensión de las características y propiedades del café, lo que puede ser de gran utilidad en la industria alimentaria.

Palabras claves: Café, liofilizado, sensorial, polifenoles, antioxidante, termogravimetría.

ABSTRACT

Coffee is marketed in various presentations, including ground and freeze-dried. However, this wide variety of options has generated the need for studies to evaluate sensory quality, morphological characterization, thermal properties, quantification of polyphenols, and antioxidant capacity. The freeze-drying of extracted soluble solids was evaluated at freezing temperatures of -20 °C, -30 °C, and -40 °C. The sensory evaluation of ground coffee and freeze-dried treatment at -30°C obtained "excellent" ratings in both evaluated varieties. The freeze-dried Geisha variety had the highest polyphenol content (22.0 ± 0.03 mg GAE/g), while the Caturra variety showed higher antioxidant capacity (DPPH = 0.51 ± 0.01 mmol TE/g; ABTS = 0.89 ± 0.01 mmol TE/g). The freeze-dried particles exhibited irregular polyhedral shapes, with a larger average diameter in the Caturra variety (66.05 μ m) compared to the Geisha variety (56.26 μ m). Thermogravimetric analysis indicated the decomposition region of the larger polymer. For ground Geisha coffee, 43.73% degraded between 205.50 - 349.26 °C, while freeze-dried Geisha degraded 44.84% in the range of 216.53 to 359.87 °C. In comparison, the ground Caturra treatment showed degradation between 214.92 and 344.69 °C with a mass loss of 42.73%, while the freeze-dried Caturra reached 46.74% mass loss between 207.20 - 359.79 °C. These findings contribute to a better understanding of the characteristics and properties of coffee, which can be of great utility in the food industry.

Keywords: morphology, sensory, polyphenols, antioxidant capacity, thermogravimetry.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda del mercado de cafés liofilizados va aumentando en el mundo de 1% a 2,5%, lo relacionan como bebida funcional gracias a sus propiedades bioquímicas y posibles beneficios para la salud ya que es la más consumida a nivel mundial; los esfuerzos persistentes de técnicos, artesanos, baristas calificados y conocedores dentro de la industria del café liofilizado ha adquirido una comprensión profunda de la ciencia del procesamiento del café y la mejora de la calidad del producto donde el término “calidad” engloba las propiedades físicas, químicas y sensoriales de las bebidas del café, por otro lado el café instantáneo que consume el mercado interno es de baja calidad, debido a que se utiliza como materia prima el café de descarte, el cual proviene principalmente de saldos no exportados (Anandharamakrishnan, 2019).

El secado por congelación (liofilizado) es un método para la conservación de alimentos manteniendo su valor nutricional. Esta técnica se utiliza para obtener los cafés instantáneos para satisfacer las expectativas del consumidor por lo que proporciona una bebida con buenos perfiles y manteniendo sus atributos como sabor, aroma, fragancia, cuerpo y acidez (Deotale et al., 2020). La caracterización del café liofilizado y café tostado molido es necesaria para aumentar el potencial de consumo per cápita en el mundo, ya que el Perú cuenta con un clima favorable y condiciones adecuadas de temperatura y precipitación para la producción de cafés de alta calidad. La evaluación de las propiedades sensoriales, térmicas, forma, tamaño y distribución del gránulo brinda información para diversas aplicaciones industriales, lo que mejora el valor del producto, promueve su producción y comercialización, en este sentido se plantearon los siguientes objetivos:

Por las consideraciones indicadas, en la presente investigación se planteó el siguiente objetivo general: Evaluar la calidad sensorial, capacidad antioxidante, fenoles totales, y caracterización morfológica - térmica en café (*Coffea arabica*) Caturra y Geisha liofilizado, y como objetivos específicos:

- Evaluar la calidad sensorial (atributos de catación) de café liofilizado y tostado molido de las variedades Caturra y Geisha.
- Cuantificar el contenido de polifenoles totales y antioxidantes, del café liofilizado y tostado molido de las variedades Caturra y Geisha).
- Realizar la caracterización morfológica del café liofilizado (Caturra y Geisha).
- Determinar el comportamiento térmico del café liofilizado y tostado molido (Caturra y Geisha).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del café

2.1.1. Definición

Son las semillas sanas y limpias, procedentes de las diversas especies del género botánico *Coffea*, se consume principalmente en dos formas: tostado molido e instantáneo (soluble), ambos con cafeína o descafeinada (Villalón-López et al., 2018). Es la segunda bebida no alcohólica, más consumida en todo el mundo con más de 2 mil millones de tazas diarias (Giacalone et al., 2018).

2.1.2. Origen

Según (Gotteland, 2007). el café se originó de una forma silvestre de la meseta de Abisinia (actualmente Etiopía), y las leyendas sobre su descubrimiento como bebida están muy extendidas; debido a la prohibición islámica del consumo de bebidas alcohólicas, el café se convirtió en una bebida más consumidas en el siglo XIII; ya en el siglo XV, los musulmanes introdujeron el café en Persia, Egipto y Turquía, donde fue la primera cafetería. (Azcarte, 2016), el descubrimiento de América permitió un mayor desarrollo de su cultivo, expandiéndose de un país a otro desde la Guayana Francesa a todas las zonas tropicales de América del sur.

2.1.3. Variedades de café

Caturra: Es una mutación de la variedad Bourbón, con una altura promedio de 1.80 m, produce granos medianos (malla # 16) y se adapta muy bien en todas las zonas cafetaleras, entre 600 a 1300 msnm y muy resistente a la roya (López-García et al., 2016). En la evaluación sensorial predomina la acidez, el amargor, el cuerpo y el aroma de acuerdo va aumentando la altitud y por otro lado disminuye el rendimiento de la producción (Steen et al., 2017).

Geisha: Es una de las variedades de porte alto con más de 3 m y de baja productividad y es considerado como uno de los más caros y exóticos, se adapta en climas fríos superior a los 1400 msnm, se considera que esta variedad posee excelente perfil de taza, por tener cuerpo delicado con notas florales, frutales muy definidos y tiene los niveles más altos de ácido clorogénico por taza de café, bajo contenido de cafeína, alta actividad antioxidante y una proporción de ácido clorogénico a cafeína (CGA/cafeína) de 2,48 a 3,85. Se ha sugerido como una posible fuente de antioxidantes; se utiliza en diversas industrias, como alimentos, productos farmacéuticos y suplementos nutricionales (Vega et al., 2021). El grano debidamente procesado

es considerado como uno de los mejores cafés y brinda a los cultivadores los ingresos más altos por libra vendida. Su sabor se extiende a través de flores dulces, flores de cítricos, jazmín, miel y ciertos tipos de frutas, con el equilibrio perfecto de acidez sutil, claridad corporal y percepción cremosa en el gusto (Vega et al., 2017).

2.2. Generalidades del café tostado molido

2.2.1. Definición

Es un producto obtenido del tostado de los granos de café verde oro a 180 y 250 °C a un tiempo variado de acuerdo al grado de tostado, donde ocurre muchos cambios debido a diferentes reacciones térmicas, que conducen al desarrollo de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas, como sabor, aroma y color, para satisfacer las necesidades del consumidor, pero también se forman algunos compuestos no deseados (Schouten et al., 2020). (Mehaya et al., 2020) define como el producto de un proceso térmico donde se controla dos factores importantes el tiempo y la temperatura, que afecta directamente a la humedad, carbohidratos, proteínas y ácido fenólico.

2.2.2. Características químicas del café tostado

El café está compuesto con más de 1000 sustancias químicas diferentes, incluidos aminoácidos y otros compuestos nitrogenados, azúcares, triglicéridos, polisacáridos, ácido linoleico, diterpenos (cafeico y cafestol), ácidos volátiles (ácido fórmico y acético) y no volátiles. ácidos (ácido tartárico, ácido láctico, ácido cítrico, ácido pirúvico), compuestos fenólicos (ácido clorogénico), cafeína, sustancias volátiles (más de 800 identificadas, de las cuales 60-80 contribuyen al aroma del café), vitaminas, minerales. Otros componentes, como los melanoídes, provienen de reacciones de dorado no enzimático o de la caramelización de carbohidratos que se produce durante el horneado. Las concentraciones de estos ingredientes varían mucho según el tipo de café y el grado de tueste (Gotteland, 2007).

Carbohidratos: La torrefacción causa una pérdida progresiva de los carbohidratos donde se reportan pequeñas cantidades de sucrosa (1.5%), glucosa (1%), fructuosa (1%), arabinosa (0.1%) y ocasionalmente trazas de galactosa; y en los cafés instantáneos sugiere que el hidrolisis ocurre al menos bajo condiciones comerciales donde también se han reportado trazas de glucosa (0.3%), Fructuosa (0.5%), ribosa y xilosa (Clarke y Vitzthum, 2008).

Lípidos: La mayoría de los lípidos que están en los granos de café no se degrada durante la torrefacción, en algunos casos se incrementan, los lípidos insaponificables

disminuyen y otros se oxidan para formar aldehídos y compuestos volátiles (Clarke y Vitzthum, 2008). El contenido de lípidos de todas las variedades del café tiene un promedio de alrededor del 10 a 18% en base seca, donde la mayoría se encuentran en el citoplasma y a lo largo de las paredes celulares de la célula vegetal del grano de café (Folmer, 2017).

Ácidos: Tanto el café verde como el tostado contienen ácidos alifáticos que influyen en la acidez de la bebida, de las cuales los principales ácidos no volátiles son: ácido clorogénico, cítrico, málico y quínico y los ácidos volátiles están representados por los ácidos fórmico y acético que se derivan del proceso de fermentación en el tratamiento postcosecha, pero también pueden generarse mediante reacciones tipo Maillard sobre tostado (Puerta y Echeverri, 2019).

2.3. Café tostado molido

Al aplicar temperatura (200 a 250°C), el grano cambia de estructura, se deshidrata y libera aceites, pierde peso, toma un color oscuro y desarrolla su aroma y sabor característicos. Los cafés están disponibles en una variedad de colores tostados, desde el café New England más claro hasta el italiano o expreso más oscuro (Riaño-Luna, 2013). Es un producto molido o granulado obtenido de la molienda de granos de café tostado (Fermín et al., 2012).

Es el grano molturado que debe tener una granulometría perceptible al tacto y no debe de llegar a tener una harinosa, es fundamental para elaborar una buena taza que condiciona la consistencia sabor y aroma (Cáceres y Escobar, 2006).

2.4. Liofilización

Es un método más confiable para conservar las características sensoriales y nutricionales de los alimentos mediante la sublimación del agua a bajas temperaturas y en condiciones especiales de vacío (Surco-Laos et al., 2017).

Generalmente las temperaturas de congelación esta entre -80 a -20 °C y la presión de trabajo de 0,2 Pa (la más baja) y la más alta de 165 Pa respectivamente de acuerdo al tipo de alimento a liofilizar, en esta condición los productos finales no se ven alterados en sus propiedades y se rehidratan fácilmente (Obregón, 2019).

Es un proceso de secado donde puede ocurrir o no a baja presión, pero bajo tales condiciones, el proceso de difusión es más eficiente, el paso de hielo a vapor requiere mucha energía, la cual se proporciona bajo alto vacío, ya que la interfaz de secado se mueve hacia el interior de la muestra, el calor tiene que pasar a través de la capa de congelación (sistema de

liofilización en la bandeja, sin granulación) o capa de secado (granular), creando un riesgo considerable de derretir el material intersticial o quemar las superficies del producto ya secas (Ramírez-Navas, 2006).

La sublimación es la condensación directa del vapor en un sólido, el proceso de sublimación se refiere al proceso por el cual la materia sufre estas o una combinación de estas transformaciones; (Figura 1) el proceso de sublimación es más eficiente a mínima presión porque el agua se extrae mediante pulsos inducidos por el gradiente de presión total. Si el agua se congela y la presión de vapor del producto se mantiene por debajo de 4,58 Torr, el hielo se sublimará directamente sin derretirse a medida que se calienta el producto en la superficie exterior, penetra al interior dejando atrás una corteza porosa de material ya seco (Macassi y Ugaz, 1995).

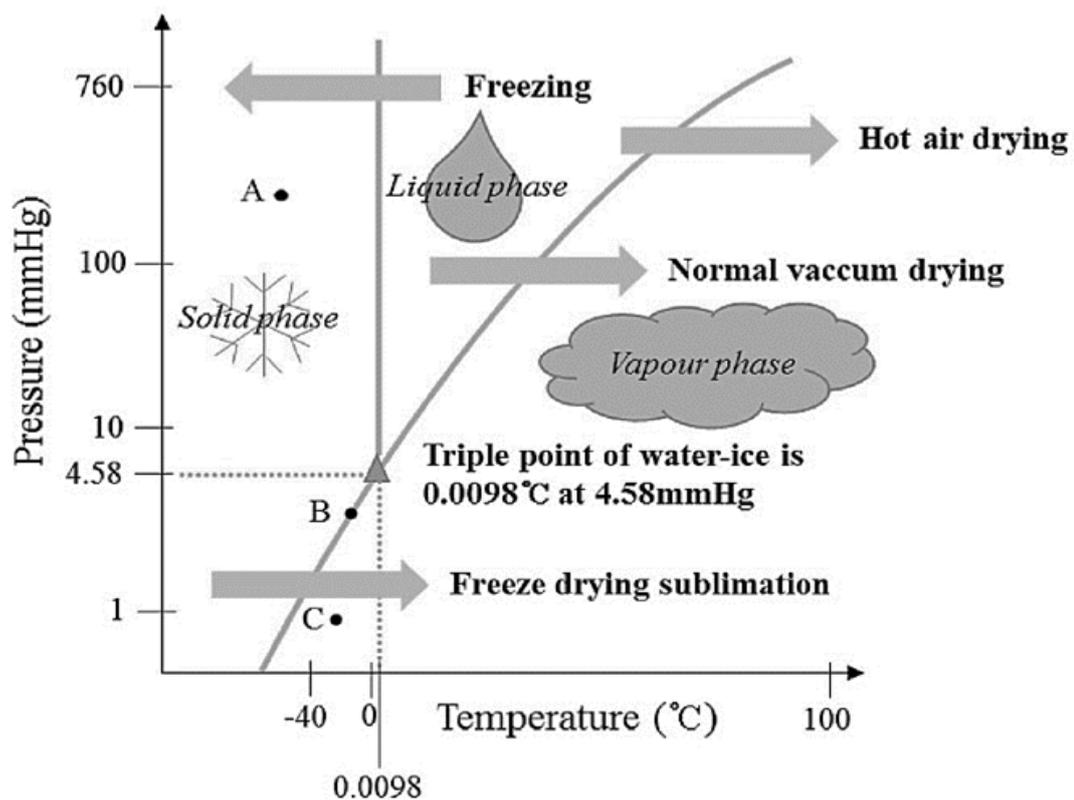


Figura 1. Diagrama de fases del agua y sistemas del secado (Macassi y Ugaz, 1995)

2.5. Café liofilizado

El café liofilizado es una bebida soluble que recupera sus propiedades básicas en segundos cuando entra en contacto con el agua, este café está ganando popularidad donde cada vez más personas lo beben precisamente por su rápida preparación y practicidad; es el proceso

perfecto para conservar el sabor, el aroma y el equilibrio perfecto del café, que consiste en congelar el extracto líquido de café, una vez ultracongelada, se coloca en una cámara de vacío para que el agua se extraiga por sublimación; de esta forma, el agua pasa del estado sólido al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (Ramírez-Navas, 2006).

La cantidad de compuestos orgánicos volátiles en el café liofilizado depende del proceso específico utilizado para hacerlo, el contenido de humedad del café liofilizado está controlado por la etapa de secado y debe ser inferior al 5 % (p/p) (Villavicencio, 2017).



Figura 2. Café liofilizado (Villavicencio, 2017)

2.6. Atributos en catación

La evaluación de la calidad del café se realiza mediante la prueba de tazas de café, que pueden utilizarse para identificar y evaluar una determinada cantidad de características y propiedades del café, los catadores son los responsables de dar la puntuación final de acuerdo con la suma de puntuaciones de cada atributo (Chalfoun et al., 2013).

El formato de la Asociación de Cafés Especiales (SCA) incluye importantes atributos de sabor del café con puntajes de 0 al 10, que son aroma, fragancia, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, equilibrio, suavidad, taza limpia, dulzura. Los catadores, por otro lado, no califican la intensidad, sino que dan una evaluación subjetiva de las características individuales (Giacalone et al., 2019).

Fragancia/aroma: Los aspectos incluyen la fragancia (definido como el olor del café molido cuando aún está en base seca) y el aroma (el olor del café cuando se le agrega agua

caliente). Se puede apreciar en tres etapas diferentes transcurso la evaluación sensorial: 1) percibir el aroma del café; 2) percibir los aromas que se desprenden cuando se rompe la capa; 3) sentir los aromas que se desprenden después de remojar el café Arellano et al., 2008).

Sabor: Es la impresión mixta de todas las apreciaciones gustativas (papilas gustativas) y retronasales que se expanden desde la boca hasta la nariz. La puntuación del sabor debe representar la intensidad, la calidad y la complejidad del sabor y el aroma combinados, experimentados con un sorbo fuerte, de modo que la bebida del café se expanda en el paladar durante la evaluación (Puerta y Echeverri, 2019).

Posgusto: Es la duración de las características gustativas positivas (sabor y aroma) que emergen de la base del paladar y permanecen después de escupir o tragar el café. Se asigna una puntuación baja si el posgusto fue breve o desagradable (Benegas, 2009).

Acidez: Esta es la característica más valorada del café, varía conforme a la procedencia del café de zonas altas o bajas, donde los panelistas describen como brillante cuando es positivo y agria cuando es negativo de acuerdo a la intensidad, dulzura y notas frutales, y se aprecia cuando el café entra en contacto con la boca (Banegas, 2009).

Cuerpo: La calidad del cuerpo se evalúa en la sensación de pesadez de la bebida de café en la boca, generalmente se percibe entre la lengua y el paladar superior de la boca; la mayoría de las muestras que posee el cuerpo con mayor densidad puede recibir un puntaje mayor en términos de calidad (Osorio, 2021).

Uniformidad: Los catadores pueden juzgarlo como positivo o negativo según el sabor y las características de los atributos en diferentes tazas de la misma muestra (Tolosa y Pérez, 2021).

Taza limpia: Se refiere a la ausencia de una impresión negativa en varias tazas de degustación, al evaluar este atributo desde el primer sorbo tiene que mantenerse las características del sabor y aroma del café (Henao, 2015)

Dulzura: es uno de los atributos que se relaciona con los frutos dulces que están presentes de manera natural en el café que alcanzaron la madurez óptima (Henao, 2015).

Apreciación general: Este es un resultado "global" basado en la percepción individual del catador; el café con características muy agradables pero imprecisas obtiene una puntuación baja; Por el contrario, cumpliendo con las características de sabor y aroma originales, reciben una calificación alta (Martínez, 2016).

Puntaje final: Por las características de dulzura, uniformidad y taza limpia, se otorgan dos puntos por cada taza en la que se muestran los atributos mencionados. Hasta 10

puntos si las cinco tazas son iguales, se suman los puntos otorgados por cada atributo primario (Gonzales, 2017).

2.7. Calidad de taza

Resultado de características sensoriales que dependen de varios factores como el genotipo, la variedad, el tipo de suelo, las condiciones agroecológicas, las prácticas agronómicas de cosecha y postcosecha, el tostado, las características del cultivo y el procesamiento. (Suarez et al., 2015). La calidad debe ser evaluada por panelistas suficientemente capacitados para identificar, definir y comprender las características sensoriales que determinan su calidad; el uso de personas capacitadas (paneles sensoriales) es semejante al uso de cualquier dispositivo científico para medir las características relacionadas con la calidad de los alimentos. Si un café tiene una calificación sensorial inferior a 80, el café no es especial, los cafés de 80,0 a 84,99 se califican como muy buenos, los cafés de 85 a 89,99 se califican como excelente, indica que la calificación del café que está entre 90 y 100 puntos son especiales (Oyola et al., 2017).

2.8. Polifenoles y capacidad antioxidante del café

2.8.1. Polifenoles

Son compuestos con múltiples grupos hidroxilo fenólicos unidos a uno o más anillos de benceno, los compuestos fenólicos son característicos de las plantas, como grupo, generalmente en forma de ésteres o glucósidos, en lugar de compuestos libres, esto es importante si desea extraer compuestos fenólicos del tejido vegetal; todos los compuestos con uno o más grupos hidroxilo directamente unidos al anillo aromático se denominan compuestos fenólicos, que son metabolitos secundarios aromáticos importantes y ampliamente distribuidos en las plantas; según los informes, el contenido de polifenoles de las frutas es mayor que el de las verduras Routray y Orsat (2013). Los compuestos fenólicos se clasifican de acuerdo con la cantidad de carbonos que posee las moléculas (Tabla 1) Vermerris y Nicholson (2008).

Los compuestos polifenólicos del café, como el ácido cafeico, quínico y clorogénico, ejercen un amplio espectro de efectos en el cuerpo humano (Diaz, 2020). El café es fuente de compuestos con alta actividad antioxidante, como los polifenoles, principalmente el ácido clorogénico y sus productos de degradación (ácidos ferúlicos, cumarico y cafeico) Dybkowska et al. (2017). Son de diversas clases de metabolitos secundarios de vegetales y estructuralmente de caracterizan por la presencia de los anillos aromáticos de seis carbonos y dos o más grupos hidroxilo fenólicos (Stevens y Hurst, 2007).

Tabla 1. Clasificación de los compuestos fenólicos

Estructura	Clase
C6	fenoles simples
C6-C1	ácidos fenólicos y compuestos relacionados
C6-C2	acetofenonas y ácidos fenilacéticos
C6-C3	ácidos cinámicos, aldehídos cinámicos, alcoholes
C6-C3	cinámicos, cumarinas, isocumarinas y cromonas
C15	chalconas, auronas, dihidrochalconas
C15	flavans
C15	flavonas
C15	flavanonas
C15	flavanonoles
C15	antocianidinas
C15	antocianinas
C30	biflavonilo
C6-C1-C6, C6-C2-C6	benzofenonas, xantonas, estilbenos
C6, C10, C14	quinonas
C18	Betacianinas
Lignanos, neolignanos	dímeros u oligómeros
Lignina	Polímeros
Taninos	oligómeros o polímeros
Flobafenos	Polímeros

Fuente: Vermerris y Nicholson (2007).

2.8.2. Capacidad antioxidante

Los productos vegetales contienen una variedad de compuestos químicos, algunos de los cuales actúan como antioxidantes para ayudar a reducción de los radicales libres que causan la descomposición y la rancidez de los alimentos, lo que está asociado con el envejecimiento y enfermedades como el cáncer, Alzheimer, Parkinson, aterosclerosis, artritis y desorden neurodegenerativos. Es la capacidad de una sustancia para inhibir la degradación oxidativa; esto se diferencia de la medición de los niveles de antioxidantes en que se puede determinar la posible presencia de antioxidantes (carotenoides, vitaminas, polifenoles, otros que no entren en la categoría anterior) que actúan como complejos antioxidantes (Herrera y

Rodriguez, 2022). Según (Córdova-Ramos et al., 2020), Son capaces de retardar la oxidación de otras importantes moléculas para el organismo, ya que tienen una gran capacidad de reacción frente a los radicales libres. (Vierci y Ferro, 2019), define que la capacidad antioxidante es considerada como un indicador confiable del contenido de antioxidantes en nuestra alimentación y previene los riesgos de padecer enfermedades crónicas.

Método DPPH (1,1-Diphenyl-2-picril-hydrazil): es un ensayo basado en la transferencia de electrones que se genera una solución de color púrpura en etanol, estos radicales libres, que son estables a temperatura ambiente, se reducen cuando están presentes las moléculas antioxidantes, se obtiene como resultado una solución de etanol incolora. El uso del ensayo DPPH proporciona una forma simple y rápida de estimar los antioxidantes espectrofotométricamente, por lo que puede ser útil para evaluar varios productos simultáneamente (García et al., 2013). DPPH, es el radical tiene un electrón desapareado y tiene un color violeta azulado, que se desvanece a amarillo pálido al reaccionar con un antioxidante; la absorbancia se mide espectrofotométricamente a 517 nm. La diferencia de absorbancia indica la tasa de recuperación de radicales libres (Castañeda et al., 2008).

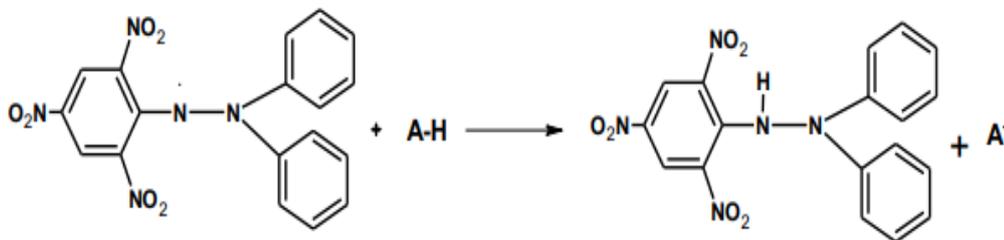


Figura 3. Estructura del radical DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante (Tovar, 2013).

Método ABTS (2,2'-Azinobis-3-etil-benzo-tiazolina-6-acido sulfónico): En la literatura científica también se le conoce como el método TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), tiene la posibilidad de medir la actividad de compuestos lipofílicos e hidrofílicos, este método tiene la ventaja de que su espectro presenta una absorbancia máxima de 414 a 815 nm en medios alcohólicos (Us-meduna et al., 2020). El método ABTS se basa en la capacidad del antioxidante para donar electrones y neutralizar los radicales, en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS⁺ por la acción de un antioxidante. El radical catiónico ABTS⁺ posee un color azul verdoso que se absorbe a 734 nm y se produce por la reacción de la oxidación de ABTS (2,2'-azino-bis-3-etil benzotiazolin-6-sulfonato amónico)

con persulfato de potasio. Esto determina el grado de decoloración como porcentaje de inhibición de radical ABTS⁺ dependiendo de la concentración (Ortiz et al., 2019).

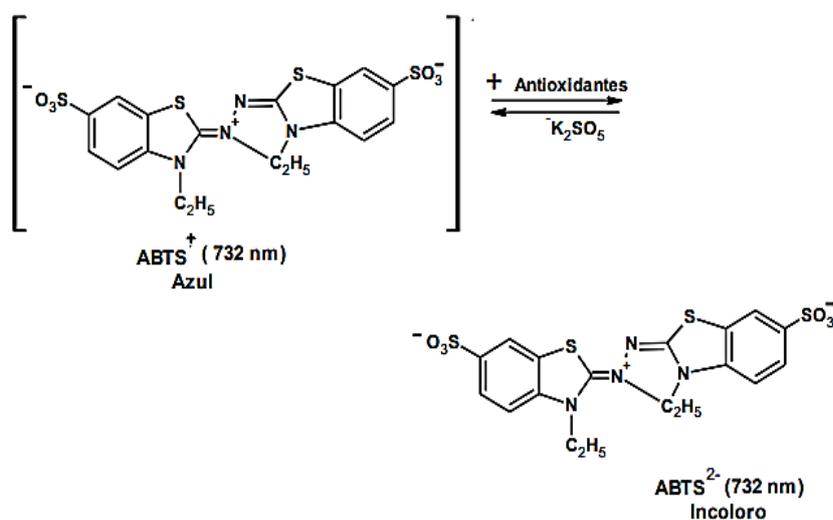


Figura 4. Estructura del radical ABTS⁺ antes y después de la reacción con el antioxidante (Tovar, 2013).

2.9. Calorimetría

Según Schick (2012), es el estudio del intercambio de calor, en varios procesos, mediante un equipo llamado colorímetro, que mide el cambio de energía y permite determinar las temperaturas de fusión, cristalización; por otro lado, Rodríguez et al. (2021), mencionan que la calorimetría es usada para realizar un seguimiento en los cambios en la energía térmica asociados con cambios físicos y químicos en los materiales en función de la temperatura, donde las transformaciones calor es liberado o absorbido.

2.9.1. Análisis Térmico

Es una serie de técnicas analíticas que busca estudiar el comportamiento térmico de los cambios físicos o químicos que sucede en un producto al ser sometido a una temperatura controlada (Ferrero, 2014). Baluja et al. (2019) menciona que el análisis térmico se utiliza con la finalidad de determinar las propiedades físicas y químicas de varios materiales de acuerdo con la temperatura, la cual permitió el desarrollo de materiales resistentes y puedan soportar temperaturas altas y más ambientes corrosivos.

2.9.2. Análisis Termogravimétrico

Es un método ampliamente utilizado para determinar las propiedades de pérdida de peso de las muestras estudiadas durante el calentamiento y para determinar la cinética de reacción durante cada paso. Los eventos térmicos que hacen que un material pierda

masa son una reducción de las reacciones químicas, reducción, oxidación, descomposición, sublimación, vaporización, formación de espuma, deshidratación, desgasificación, desorción, mientras que la ganancia de masa está relacionada a reacciones químicas, oxidación absorción y adsorción (Pielichowska y Nowicka, 2019). El análisis termogravimétrico se puede utilizar para realizar estudios de la pérdida de masa del producto por oxidación, degradación o pérdida de compuestos volátiles Rami et al. (2021). Zhang et al. (2019), define que la termogravimetría (TGA) se utiliza principalmente para describir la pérdida de masa de la muestra analizada por medio de la temperatura. Los resultados se obtienen en graficas en unidades o porcentaje de masa en función a temperatura y tiempo, mediante curvas de variación de masa, para conseguir las temperaturas y velocidad de descomposición u oxidación suelen derivarse la curva TGA obteniendo como resultado la curva DTG (Figura 5) Skoog et al. (2001).

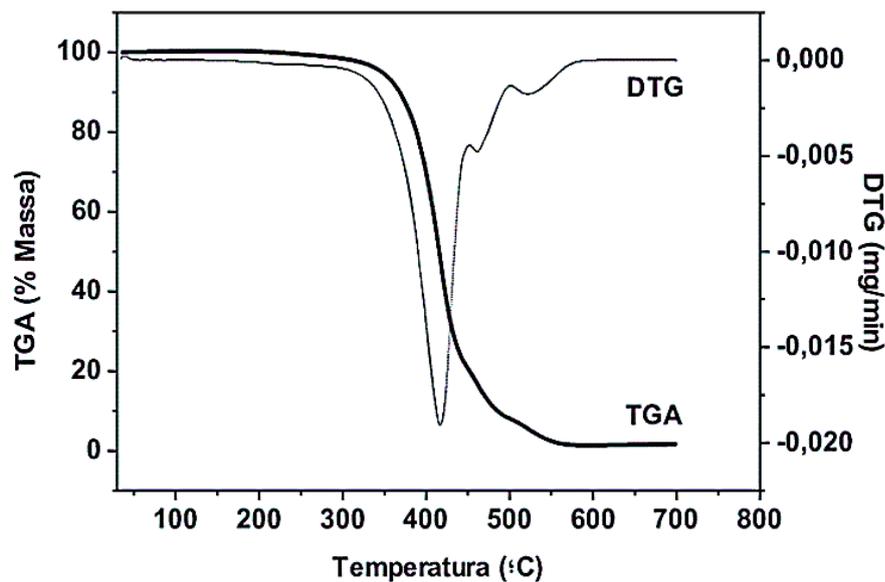


Figura 5. Curva de descomposición térmica (Skoog et al., 2001).

2.10. Microscopio electrónico de barrido (MEB)

Técnica que también es conocida como SEM (Scanning Electron Microscope) la obtención de imágenes con un haz de electrones en lugar de un haz de luz, con una gran profundidad de campo que permite que la mayor parte de la muestra esté enfocada simultáneamente, también produce imágenes de alta resolución, lo que significa que las características están espacialmente juntas, lo que permite la inspección de la muestra en gran aumento (Hernández, 2021). El principio de funcionamiento de un SEM se puede resumir de la siguiente manera: el dispositivo utiliza una fuente de electrones (voltaje de 0,1-30 keV y lente electromagnética) para enfocar un haz de electrones altamente concentrado en una muestra

recubierta (conductora). La interacción del haz de luz y la muestra elimina electrones de la muestra (electrones secundarios), que son capturados por detectores en la columna del microscopio y transmiten información a través de estos detectores. El sistema de control microscópico crea una imagen en escala de grises de la superficie de la muestra, en este caso debe operar a voltajes más altos, , 15-30 keV (Prin et al., 2010).

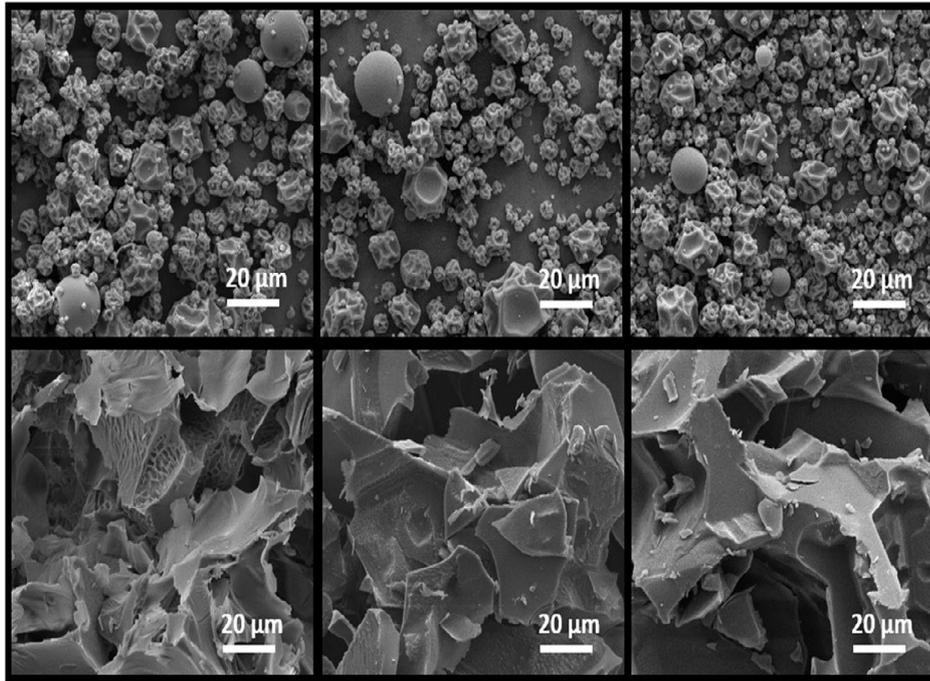


Figura 6. Estructura de las partículas de café liofilizado obtenidas por MEB (Ballesteros et al., 2017).

La Figura 6 muestra la distribución morfológica y el tamaño de las formas y tamaño de partículas, por ello las ventajas que presenta el MEB son que las muestras pueden ser voluminosas y que las imágenes obtenidas poseen información tridimensional (Gustavo et al., 2016).

2.10.1. Análisis morfológico

Según Sánchez (2019), se realiza con un microscopio electrónico de barrido (SEM) porque los resultados se obtienen con buen aumento y rango de aumento, lo que ayuda a estudiar mejor la morfología de las partículas; la profundidad de campo depende de la dispersión del haz de electrones, que viene determinada por el diámetro de la apertura del objetivo y la distancia entre la muestra y dicha apertura.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos y en el laboratorio Central de Investigaciones (LCI) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en Carretera Centra km 1,21 y en el Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica (CITE) Agroindustrial Huallaga, ubicado en la carretera Tingo María – Aucayacu Alt. Km 26 CP Santa Lucía, departamento de Huánuco; a una altitud de 660 msnm, 09°17' 08" S, 75° 59' 52" O, humedad relativa promedio 85% y con temperatura promedio anual 25 °C.

3.2. Muestra

Se recolectaron dos variedades de café en pergamino, Caturra y Geisha, de la zona de Monzón, provincia de Huamalíes, departamento de Huánuco, la zona de producción se encuentra a una altitud de 1700-1900 msnm, latitud sur 9° 16' 33" y longitud oeste 76° 22' 32" (Figura 7).



Figura 7. Café Caturra y Geisha

3.3. Equipos, materiales y reactivos

3.3.1. Equipos de laboratorio

Estufa modelo 9140 A, 220 V – 60 Hz, China; Tamizadoras Retsh, serie 411470, numero de malla 45, diámetro de apertura 355 μm , motor $\frac{1}{4}$ HP para 230V/50Hz, Japón, Balanza analítica RADWAG modelo AS 220.R2 capacidad 220 g, Perú; Trilladora BONELLY Industrial, serie 1609020564, China; Tostadora semi-industrial T-200 (IMSA), Mexico; Calorímetro SETARAM – Labsis Evo Robot, Estados Unidos; Molino de café tostado

modelo ARTISAN 5KCG0702, Alemania; Selladora modelo Impulsse Sealer KS.100-250W AKS.500-800W, México.

3.3.2. Materiales de laboratorio

Desecador tapa de vidrio, modelo 200, marca Simax; Frascos de vidrio de 100 g, marca Dahi; Placa Petri de poliestireno transparente, diámetro 55 mm, altura 14 mm, marca Brand; Matraz Erlenmeyer de 50 ml, 100 ml, marca Pyrex; Buretas de 50 ml; Fiola de 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, marca Brand; Vasos de precipitación de 50 ml, 100 ml, 250 ml, marca Marienfeld; Probetas graduadas de 10 ml, 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, marca Bomex; Pipetas volumétricas 5 ml, 10 ml, 50 ml, marca Brand; Taza de porcelana de 5,5 onzas, marca HIC; Bagueta de vidrio 25 cm largo por 6 mm de diámetro, marca Soviquim; Pinzas metálicas modelo 396.303.04, marca Labscient; Hervidora de acero inoxidable de 2,5 L, modelo Artemisa, marca Doral; Cucharas de acero inoxidable para catación marca facusa; Espátula metálica con mango de madera marca Kasalab; Crisol de aluminio 75 μ L; Embudos de vidrio marca Brand; Jarras de plástico marca Trilla; Papel filtro Whatman grado 42; Sacos de yute para granos de café; Tamiz para granos de café verde con mallas N° 15; soporte de madera para embudos; mesa para catación.

3.3.3. Reactivos

Solución de Fenol de Folín - ciocalteu, Sigma Chemical; Carbonato de sodio al 7,5 % (Na_2CO_3); Agua destilada (H_2O dd); 2,2'-Azino-bis (3- etrylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS; Sigma Aldrich, USA); 1,1- Diphenyl-2-picril-hydrazil (DPPH, Sigma Aldrich, USA) y Etanol.

3.4. Métodos de análisis

Evaluación sensorial: mediante el protocolo de prueba de taza (SCAA, 2010) del Coffee Quality Institute, utilizando el formulario de catación por 5 catadores con certificación Q-Grader arábica.

Evaluación de la actividad antioxidante: el método espectrofotométrico UV/Visible descrito por Brand-Wilians et al (1995) reportado por Sandoval et al. (2002).

Análisis de polifenoles totales: método espectrofotómetro desarrollado por Folín Ciocalteu reportado por por Symonowicz et al. (2012).

Análisis Termogravimétrico: método descrito por Zi et al. (2019).

Análisis morfológico: método descrito por Gupta, et al. (2015)

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Proceso para obtención de café tostado molido

El café fue acondicionado siguiendo las operaciones de la Figura 8 que se describen a continuación:

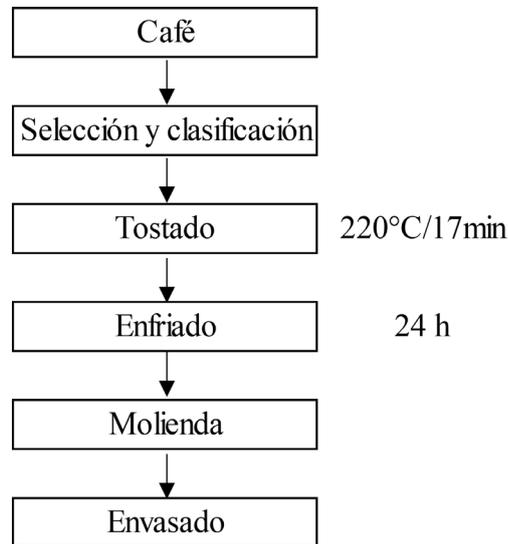


Figura 8. Diagrama de flujo para obtención de café tostado molido.

Durante este proceso, los granos de café han sido seleccionados y clasificado (partidos, podridos, demasiado pequeños, blanqueados, amarillentos), luego fueron expuestos en un torrefactor a 220 °C por 17 min donde hubo cambios fisicoquímicos necesarios para desarrollar las características como el aroma, sabor y color del café. Luego del tostado, los granos pasaron por un proceso de molienda en el que se redujeron significativamente su tamaño para aumentar la superficie de contacto y así para facilitar la extracción de sólidos solubles.

3.5.2. Proceso para obtención de café liofilizado

El café fue acondicionado siguiendo las operaciones de la Figura 9 que se describen a continuación:

El café tostado molido se sometió a un proceso de extracción sólido-líquido por medio de una prensa francesa en proporción de 130 g de café tostado molido y 800 mL de agua caliente a 100 °C por un tiempo de 4 minutos y se procedió a prensar. La mezcla entre los dos componentes, agua y café hace que este último seda los sólidos solubles con la que se obtuvo el extracto de café. El extracto ha sido congelado en una ultra congeladora a -40 °C por 12 horas, una vez cumplida el tiempo fueron trasladados a la cámara de condensador del liofilizador y se congelaron a tres temperaturas de -40 °C, -30 °C y -20 °C aproximadamente

en una hora con diez minutos, luego se sellaron herméticamente y se liofilizaron a presión de vacíos 13 Pa por 18 horas de proceso. Al finalizar el tiempo se obtuvo gránulos de polvo semicompactado y con la ayuda de una espátula se dispersó y se envaso en frascos de vidrio para evitar la acción de la humedad.

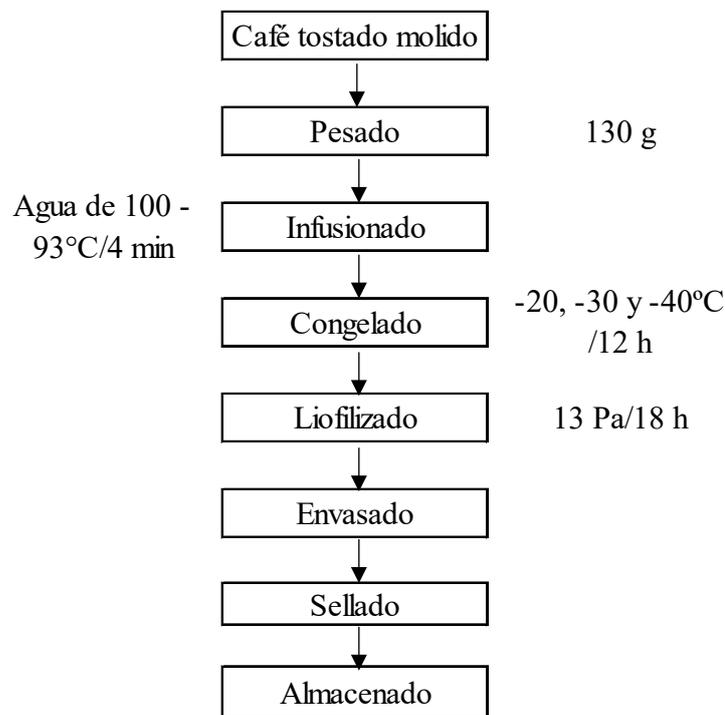


Figura 9. Diagrama de flujo para obtención de café liofilizado.

3.5.3. Evaluación sensorial

Fue realizado por cinco profesionales en catación de café con Q-Grade, los cuales utilizaron el formulario de catación de la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA), considerando 7 atributos para cada muestra y la calificación fue en una escala de 0 como el valor mínimo y 10 como el puntaje mayor (SCAA, 2010). Los catadores primero evaluaron la fragancia/aroma de café liofilizado y café tostado molido en seco, luego se agregó a cada vaso agua a 93 °C y esperaron de 3 a 5 minutos para que se percibiera la reacción del compuesto al aspirarlo en forma de vapor. A continuación, se realizó la acción de romper taza, consiste en retirar con la ayuda de una cuchara la costra que se ha formado sobre la infusión; el catador remueve e inhala para comprobar si se mantiene el aroma que se determinó previamente en seco, a continuación, con la ayuda de dos cucharas de degustación, el catador retira las partículas flotantes del café molido, a esta operación se denomina limpiar taza. El catador extrae una porción de la infusión con una cuchara y la sorbe enérgicamente hasta que emita un sonido

característico que permite que las finas gotas lleguen a toda la cavidad bucal para determinar los atributos de acidez, cuerpo, sabor, postgusto, equilibrio, taza limpia y apariencia, se evaluó de acuerdo al formulario de catación (F-.XXX).

Los resultados fueron evaluados por el diseño completamente al azar y a un análisis de varianza (ANVA), para los tratamientos que tuvieron significancia estadística se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0,05$), el análisis fue realizado en el software STATGRAPHICS CENTURION, versión 16.103.

3.5.4. Cuantificación de capacidad antioxidante

DPPH: Se realizó con el método reportado por Zi et al. (2019), en una cubeta con 900 μL de solución de trabajo de DPPH (100 μM) y se adicionó 100 μL de extracto; se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro UV/VIS a 515 nm, finalmente se obtuvieron los resultados a los 10 min y expresados en mmol ET/g.

ABTS: Se realizó con el método reportado por Zi et al. (2019), en una cubeta de poliestireno se adicionó 25 ml de extracto, seguidamente se añadió 975 μL de solución de trabajo ABTS (7 Mm, que se adicionó en 10 ml de agua desionizada 0,0884 de ABTS); la lectura se realizó en un espectrofotómetro UV/VIS a una longitud de onda de 734 nm finalmente se obtuvieron los resultados a los 10 min y expresados en mmol ET/g.

Los resultados fueron evaluados por el diseño completamente al azar y a un análisis de varianza (ANVA), para los tratamientos que tuvieron significancia estadística se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0,05$), el análisis fue realizado en el programa InfoStat versión libre 2011.

3.5.5. Evaluación de polifenoles totales

Para la evaluación se utilizó 100 μL de extracto en un matraz, 500 μL de Fenol Folin Ciocalteu, finalmente se agregó 400 μL de Na_2Cl_3 al 7,5%, el cual se reposó por 2 horas a temperatura ambiente protegido de la luz, la lectura se llevó a cabo en un espectrofotómetro UV/VIS a una onda de 740 nm, esto se realizó a cada muestra por triplicado y los resultados se enunciaron en equivalente de ácido gálico (mg EAG/100 g).

3.5.6. Análisis térmico por termogravimetría (TGA/DTG)

Las propiedades térmicas del café liofilizado se determinaron usando el método descrito por Zi et al. (2019), para ello se utilizó un calorímetro. Se pesó 5 mg de la muestra de café liofilizado en un crisol de aluminio y se colocaron en la portamuestras del

equipo, luego se realizó la programación para un trabajo automático con los siguientes parámetros de calentamiento de 25 °C hasta 550 °C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min en un ambiente de nitrógeno, utilizando un flujo de 50 ml/min. Los análisis se realizaron por triplicado.

Los resultados fueron evaluados por el diseño completamente al azar y a un análisis de varianza (ANVA), para los tratamientos que tuvieron significancia estadística se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0,05$), el análisis fue realizado en el programa InfoStat versión libre 2011.

3.5.7. Caracterización morfológica

La estructura de las micrografías del café liofilizado de ambas variedades se examinó en un Microscopio Electrónico de Barrido Phenom ProX, descrito por el método de Gupta et al. (2015), donde las partículas del café liofilizado se colocaron en un portamuestra adherida en una cinta de carbono y se observó a un voltaje de aceleración de 15 KV magnificación de 5000X.

Los resultados fueron evaluados por el diseño completamente al azar y a un análisis de varianza (ANVA), para los tratamientos que tuvieron significancia estadística se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0,05$), el análisis fue realizado en el programa InfoStat versión libre 2011.

3.6. Diseño experimental

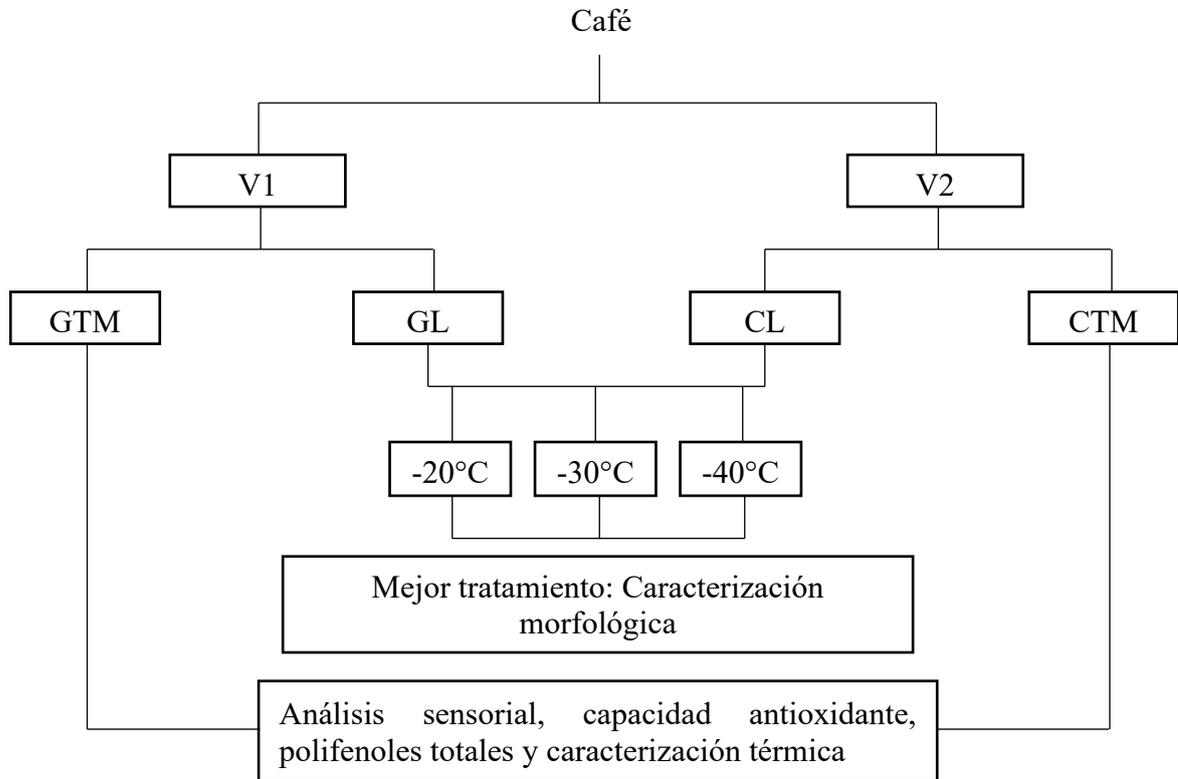


Figura 10. Esquema experimental de investigación

Donde:

V1: Variedad Geisha

V2: Variedad Caturra

GTM: Geisha Tostado Molido

CTM: Caturra Tostado Molido

GL: Geisha Liofilizado

CL: Caturra Liofilizado

- Temperatura de congelación de la muestra a (-20 °C)
- Temperatura de congelación de la muestra a (-30 °C)
- Temperatura de congelación de la muestra a (-40 °C)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación sensorial de café tostado molido y liofilizado a tres temperaturas de congelación

La Tabla 2 y la Figura 11 muestran los perfiles sensoriales de muestras de café liofilizado (GL y CL) a tres temperaturas de congelación -20°C , -30°C y -40°C y café tostado molido (GTM y CTM), los resultados de cada atributo evaluado se realizaron mediante el análisis descriptivo cuantitativo como se muestra en la Tabla 2 y Figura 9. Con respecto a **fragancia/aroma**, este atributo se evaluó en base seca (tostado molido y liofilizado) y la aroma en base húmeda donde se percibe toda las sustancias volátiles (aldehídos, cetonas, esterés) del café por medio de la impresión olfativa, según resultado hubo diferencia estadística (F-XXIII) entre las diferentes temperaturas de liofilizado y café tostado molido, para los cafés liofilizados estuvo comprendido entre $7,5 \pm 0,0^{\text{a}}$ a $8,05 \pm 0,1^{\text{c}}$ y para el tostado molido para ambas variedades $8,00 \pm 0,0^{\text{c}}$ teniendo un calificativo entre “muy bueno “ y “excelente”, por ello está dentro del rango según el informe de Guambi et al. (2017) los resultados expresaron una calificación mínima de 7.25 en variedad Caturra y un máxima de 8.25 en la variedad Típica en fragancia/Aroma; Márquez-Romero et al. (2020) reportó en aroma 7,56 en café de la zona de Cirialo – Convención Cusco – Perú . Oliveira et al. (2009) obtuvo 6,6 puntos en aroma para café liofilizado muy debajo a lo reportado, esto fue debido a que tuvo un tostado leve y no hubo una reacción de Maillard completa.

El atributo sabor es la combinación de varios estímulos (textura y temperatura) que se percibe en las papilas gustativas los sabores básicos que son cuatro: dulce, salado, ácido y amargo u otras sensaciones como la frescura, picante, astringencia, metálico y umami. Según resultado hubo diferencia estadística (F-XXIV) entre las diferentes temperaturas de liofilizado y café tostado molido, para cafés liofilizados se obtuvo en un rango de $7,44 \pm 0,1^{\text{a}}$ a $7,85 \pm 0,1^{\text{cd}}$ con un calificativo de “muy bueno” y café tostado molido $7,95 \pm 0,1^{\text{cd}}$ a $8,0 \pm 0,0^{\text{d}}$ también considerado entre “muy bueno” y “excelente”, el resultado obtenido fue mejor a lo reportado por López-García et al. (2016) en (*Coffea arabica* L.) en café caturra 6,7 y en Bourbon 6,5 puntos para el sabor. La caída en el puntaje se puede atribuir al mal gusto por picado de insectos granos y que no llegaron a su madurez durante la cosecha Puerta-Quintero (2016). Fue similar a lo reportado por Dominguez et al. (2020) en su informe de café tostado molido comerciales en Leoncio Prado-Perú, donde obtuvo 6,33 a 7,67 puntos en sabor, Márquez-Romero et al. (2020) obtuvieron similar puntaje para el sabor de la bebida 7,51 puntos.

Tabla 2. Resultados de análisis sensorial de los atributos de café tostado molido y liofilizado

Atributos	Café Geisha y Caturra tostado molido y liofilizado							
	GL - 20 °C	GL - 30 °C	GL - 40 °C	GTM	CL - 20 °C	CL - 30 °C	CL - 40 °C	CTM
Fragancia/aroma	7,56 ± 0,1 ^a	8,05 ± 0,1 ^c	7,75 ± 0,0 ^b	8,0 ± 0,0 ^c	7,60 ± 0,1 ^a	7,95 ± 0,1 ^c	7,50 ± 0,0 ^a	8,00 ± 0,0 ^c
Sabor	7,44 ± 0,1 ^a	7,85 ± 0,1 ^{cd}	7,75 ± 0,0 ^{bc}	7,95 ± 0,1 ^{cd}	7,75 ± 0,0 ^{bc}	7,85 ± 0,1 ^{bcd}	7,65 ± 0,1 ^{ab}	8,00 ± 0,0 ^d
Sabor residual	7,35 ± 0,1 ^a	7,60 ± 0,1 ^{abc}	7,45 ± 0,1 ^a	7,95 ± 0,0 ^c	7,65 ± 0,2 ^{abc}	7,65 ± 0,1 ^{bc}	7,45 ± 0,1 ^{ab}	7,75 ± 0,1 ^c
Acidez	7,55 ± 0,1 ^a	7,65 ± 0,2 ^a	7,60 ± 0,1 ^a	7,75 ± 0,0 ^c	7,70 ± 0,1 ^{ab}	7,85 ± 0,1 ^{bc}	7,55 ± 0,1 ^a	7,90 ± 0,1 ^{bc}
Cuerpo	7,55 ± 0,1 ^a	7,60 ± 0,1 ^a	7,85 ± 0,1 ^b	8,00 ± 0,2 ^b	7,60 ± 0,3 ^{ab}	7,80 ± 0,1 ^{ab}	7,55 ± 0,1 ^a	7,75 ± 0,0 ^{ab}
Balance	7,50 ± 0,0 ^a	7,55 ± 0,1 ^{ab}	7,80 ± 0,1 ^c	7,80 ± 0,2 ^{bc}	7,50 ± 0,0 ^a	7,75 ± 0,0 ^c	7,60 ± 0,1 ^{bc}	7,85 ± 0,1 ^c
Apreciación general	7,40 ± 0,2 ^a	7,70 ± 0,1 ^{bcd}	7,50 ± 0,0 ^{ab}	7,80 ± 0,2 ^d	7,55 ± 0,1 ^{abc}	7,85 ± 0,2 ^d	7,75 ± 0,0 ^{bcd}	7,85 ± 0,1 ^{cd}
Puntaje total	82,35	84,00	83,70	85,10	83,35	84,70	83,05	85,10

Los valores representan (promedio ± DS) los datos provienen del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativas, ($p \leq 0,05$). LG (Café liofilizado geisha) LC (Café liofilizado caturra) GT (Café geisha tostado) CT (Café caturra tostado).

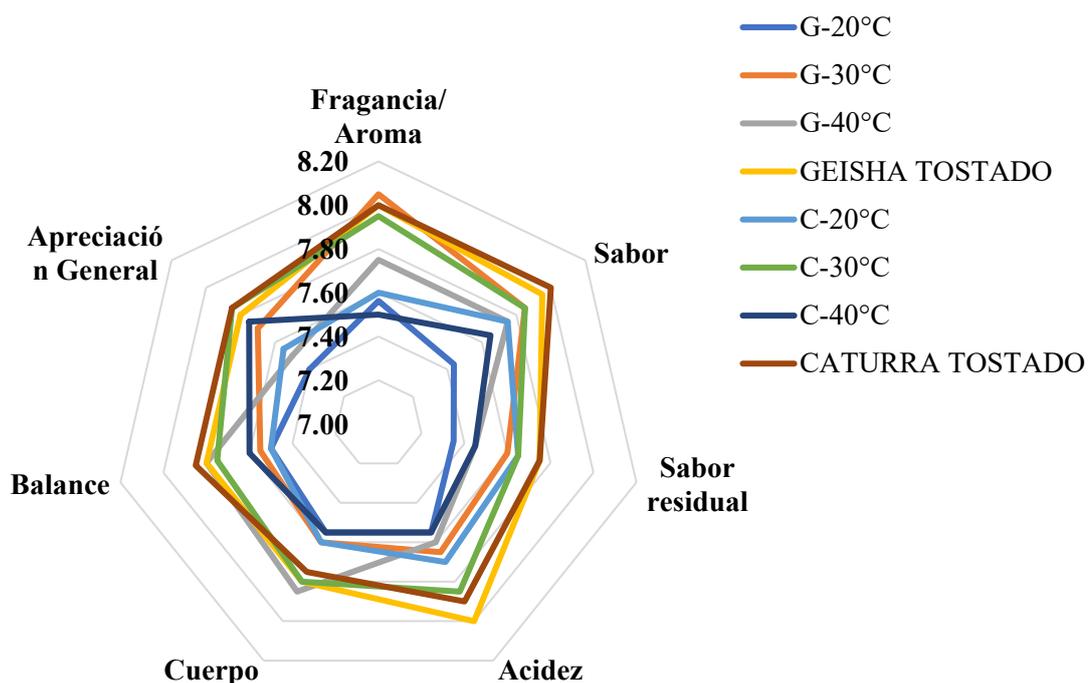


Figura 11. Representación radial de la evaluación sensorial del café liofilizado y tostado molido.

El atributo Sabor residual es considerado como una sensación que se percibe las cualidades positivas en la cavidad bucal después de escupir el sorbo de café. Según los resultados existe una diferencia estadística (F-XXV) entre las diferentes temperaturas de liofilizado y café tostado molido, en la bebida de café se obtuvieron puntajes que varió de $7,35 \pm 0,1$ a $7,65 \pm 0,2$ para café liofilizado con un calificativo de “muy bueno” y $7,75 \pm 0,1$ a $7,95 \pm 0,0$ en café tostado molido calificado como “muy bueno”. Los resultados fueron mayores a lo que menciona Paz et al. (2013) en cafés de fincas colombianas que obtuvieron puntajes entre 6,00 a 6,80, este atributo es afectado por la recolección de granos verdes que producen astringencia y por el secado inadecuado y tipo de tueste, (Franco, 2017) reportó en promedio 6,10 puntos en cafés instantáneos ya que se percibía con sabor a quemado y ácido intenso. Oliveira et al. (2009) reportó como el puntaje más alto 6,60 puntos en café liofilizado y 5,40 a 6,40 en café liofilizado con agregado de aceites aromáticos de café tostado.

Con respecto al atributo acidez, según los resultados existe una diferencia estadística (F-XXVI) entre las diferentes temperaturas de liofilizado y café tostado molido, esto varió de $7,55 \pm 0,1$ a $7,85 \pm 0,1$ puntos considerándose como “muy bueno” en cafés liofilizados, y con respecto a café tostado molido varió de $7,75 \pm 0,0$ a $7,90 \pm 0,1$ puntos con calificativo de “muy bueno” los valores son similares a los resultados reportado por Burbano y Cabrera (2018)

quienes obtuvieron 7,25 puntos en café de variedad Castillo, Oviedo (2017) reportó un puntaje de puntaje de 7,55 en café tostado olido a 180 °C/11 min, estos valores se debe a un buen control de tiempo y temperatura durante el tueste y no se haya realizado mezclas de café de inferior calidad. (Franco, 2017) indica que el tueste oscuro reduce la acidez, la reducción del acidez del café está relacionada con el tiempo de secado, el origen, la variedad y la edad del fruto, por ello obtuvo una calificación de 5,5 puntos en café instantáneo; el aumento de acidez está relacionado con la degradación causada por el aumento de temperatura en el proceso de tostado del café porque es considerado inversamente proporcional a la calidad del café, esto se debe a que los altos niveles de acidez indican una bebida de café de mala calidad (Fernández et al., 2014).

El atributo cuerpo es la sensación de la bebida que se percibe en la boca, especialmente se percibe entre la lengua y el paladar, la mayoría de las bebidas de café con un buen cuerpo puede recibir puntajes de alta calidad debido a la presencia de coloides, no obstante, algunas muestras de cuerpo ligero también puedan ofrecer una sensación agradable en la boca Sullca (2022). Según los resultados existe una diferencia estadística (F-XXVII) entre las diferentes temperaturas de liofilizado y café tostado molido, de la cual se obtuvo en un rango de $7,55 \pm 0,1$ a $7,85 \pm 0,1$ en café liofilizado que tuvo un calificativo de “muy bueno” y en café tostado molido en un rango de $7,75 \pm 0,0$ a $8,00 \pm 0,2$ con un calificativo entre “muy bueno y excelente”, (Franco, 2017) obtuvo una calificación de 6,1 puntos en café instantáneo de una escala de 0 a 10 en *Coffea arabica* L. que fue inferior a lo reportado ya que se percibió una consistencia moderada en la boca. Por otro lado, los resultados se encuentran dentro del rango que fue reportado por Burbano y Cabrera (2018) quienes obtuvieron quienes obtuvieron 7,25 puntos en atributo cuerpo en café de variedad Castillo, Márquez-Romero et al. (2020) reportaron similar puntaje para este atributo como mínimo 6,50 y máximo 7,92 en café de Cirialo.

Para el atributo Balance se considera que es una mezcla de acidez, cuerpo y sabor, las cuales son evaluadas en bebida caliente y en bebida fría se evalúa dulzor, uniformidad y taza limpia (Sullca, 2022). Según los resultados existe una diferencia estadística (F-XXVIII) entre las diferentes temperaturas de liofilizado y café tostado molido, con respecto a este atributo varió entre $7,50 \pm 0,0$ a $7,80 \pm 0,1$ para café liofilizado y $7,80 \pm 0,2$ a $7,85 \pm 0,1$ para café tostado molido de ambas variedades teniendo un calificativo de “muy bueno”, (Días, 2020) encontró un menor balance en café caturra tostado oscuro $7,2 \pm 0,2$ y un valor similar en café catimor $7,6 \pm 0,2$; (Chávez, 2021) reportó en su informe un valor que esta dentro del rango de zonas altas de Leoncio Prado $7,59 \pm 0,03$ en *Coffea arabica* L., Guambi et al. (2018) encontraron

valores similares a lo reportado en cuatro genotipos de café robusta 7,50 para genotipo local en beneficio semihúmedo y 8,00 para genotipo NP 3056 beneficio húmedo enzimático.

Según los resultados existe una diferencia estadística (F-XXIX) entre las diferentes temperaturas de liofilizado y café tostado molido para la apreciación general la cual indica que varía de $7,40 \pm 0,2$ a $7,85 \pm 0,2$ considerado como “muy bueno” para liofilizado y $7,80 \pm 0,2$ a $7,85 \pm 0,1$ para tostado molido con un calificativo de “muy bueno”, por ello está dentro del rango según el informe de Márquez-Romero et al. (2020) quien reporto 7,67 en su apreciación general para café de variedad típica y catimor de la Convención Cusco-Perú, Guambi et al. (2018) encontraron valores similares a lo reportado en cuatro genotipos de café robusta 7,50 para genotipo local en beneficio húmedo convencional y un valor superior de 8,00 para genotipo NP 3056 beneficio húmedo enzimático. Por otro lado, Duicela et al. (2017) encontró un menor valor de 7,32 en la apreciación general de café arábico lo que fue relacionado a las diferentes variedades y altitud en Ecuador.

4.2. Capacidad antioxidante del café tostado molido y liofilizado

4.2.1. Capacidad antioxidante por método DPPH

Como se muestra en la Tabla 3 y la Figura 12 la comparación de café liofilizado y café tostado molido, los resultados con mayor actividad antioxidante por DPPH fue en el café liofilizado de la variedad geisha ($0,51 \pm 0,01$ mmol ET/g) y en menor en el café tostado molido de la misma variedad ($0,40 \pm 0,00$ mmol ET/g). Los resultados fueron analizados estadísticamente donde se encontró una diferencia estadística (Anexo F-XIII), realizando la comparación de los promedios y obteniendo el valor ($p \leq 0,05$).

Tabla 3. Resultado de capacidad antioxidante por el método DPPH

Análisis	Café Liofilizado		Café tostado molido	
	GL	CL	GTM	CTM
DPPH (mmol ET/g)	$0,51 \pm 0,01^a$	$0,49 \pm 0,01^a$	$0,40 \pm 0,00^c$	$0,41 \pm 0,00^c$

Los valores representan (Promedio \pm DS) datos provenientes del experimento ($n = 3$), los valores de una misma columna son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Los valores encontrados fueron superiores a lo reportado por (Vega et al., 2017) para cafés tostado variedad geisha, cuyo rango fue de $0,175 \pm 0,014$ y $0,200 \pm 0,012$ mmol ET/ g y variedad caturra de $0,169 \pm 0,007$ y $0,186 \pm 0,002$ mmol ET/ g. Por otro lado, el menor valor fue similar a lo reportado por (Lezcano et al., 2015) en café de tostado ligero $0,40 \pm 0,05$,

tostado medio $0,40 \pm 0,07$. A su vez Sánchez y Anzola (2012), obtuvieron resultados superiores en cafés tostados $1,18 \pm 0,02$. (Ballesteros et al., 2017) obtuvo resultado superior a lo reportado 2.15 ± 0.03 en cafés liofilizados ya que utilizó el método FRAP (actividad antioxidante por el ensayo de poder antioxidante reductor férrico).

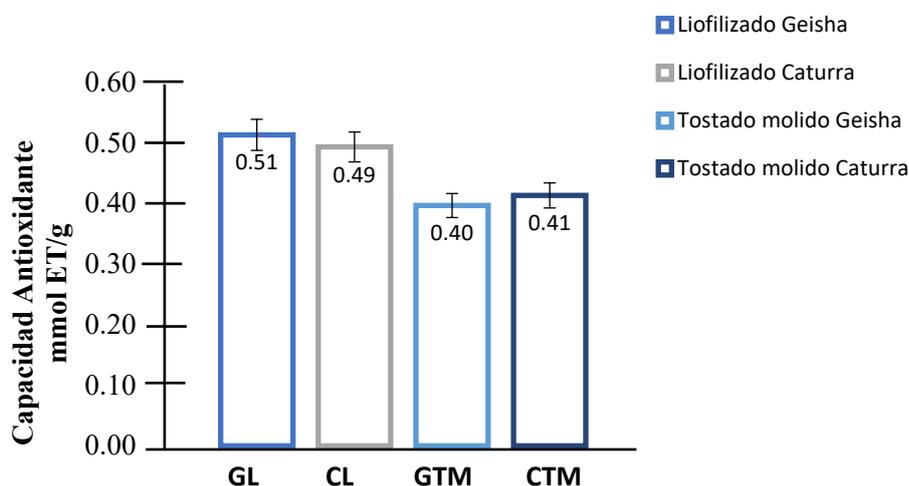


Figura 12. Capacidad antioxidante de café liofilizado y tostado molido (geisha y caturra) por el método DPPH.

4.2.2. Capacidad de inhibir el radical libre ABTS•+

Comparando los valores de actividad antioxidante por el método ABTS, como se muestra los resultados en la tabla 4 y la figura 13, el mayor fue en el café liofilizado de la variedad geisha ($0,88 \pm 0,01$ mmol ET/g) y menor en el café tostado molido de la misma variedad ($0,66 \pm 0,01$ mmol ET/g). Los resultados fueron analizados estadísticamente y se encontró una diferencia estadística los valores de café liofilizado y café tostado molido con un valor ($p \leq 0,05$).

Tabla 4. Resultado de capacidad antioxidante por el método ABTS

Análisis	Café liofilizado		Café tostado molido	
	GL	CL	GTM	CTM
ABTS (mmol ET/g)	$0,88 \pm 0,01^a$	$0,89 \pm 0,01^a$	$0,66 \pm 0,01^b$	$0,69 \pm 0,01^b$

Los valores representan (Promedio \pm DS) datos provenientes del experimento ($n = 3$), los valores de una misma columna son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

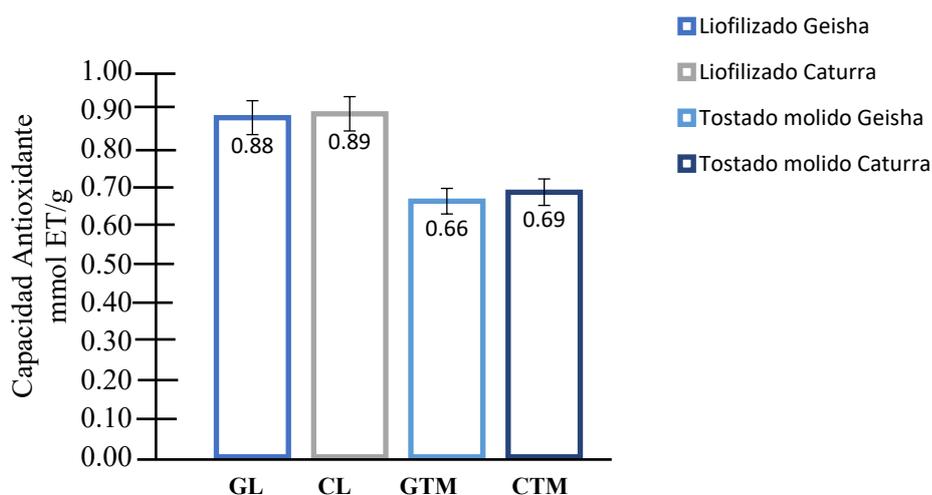


Figura 13. Capacidad antioxidante de café liofilizado y tostado molido (Geisha y Caturra) por el método ABTS.

Según Fonseca-García et al. (2014), obtuvieron resultados menores a lo reportado $0,224 \pm 0,245$ a $0,245 \pm 0,000$ mmol ET/ g café, esta variación de la capacidad antioxidante depende a muchos factores (altura, grados de tostado, variedad de café y el tipo de método que se utiliza para la determinación de AA). A su vez Bedoya-Ramirez et al. (2017) también obtuvo resultado menor en cafés liofilizado $0,6177 \pm 10,7$ mmol ET/ g, esto se debe al tipo de proceso de fabricación a diferencia de los cafés tostado. Por otro lado, Cruzalegui et al. (2021) quienes encontraron en promedio valores similares $0,85 \pm 0,000$ mmol ET/ g en cafés liofilizados procedentes de diferentes zonas del Amazonas utilizando diferentes solventes en la extracción.

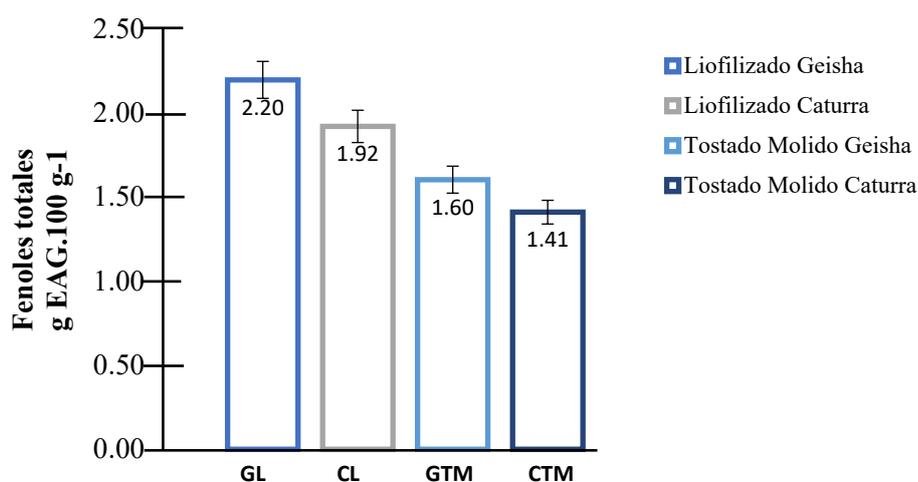
4.3. Contenido de polifenoles totales del café liofilizado y tostado molido

Comparando los valores de polifenoles de café liofilizado y café tostado molido se muestra en la Tabla 5 y la Figura 14, donde se muestra que el mayor contenido de polifenoles lo posee los cafés liofilizados de ambas variedades $22,0 \pm 0,03$ y $19,2 \pm 0,05$ mg EAG/g y valores mínimos son del café tostado molido de ambas variedades $16,0 \pm 0,02$ y $14,1 \pm 0,02$ mg EAG/g. Los resultados fueron analizados estadísticamente y se encontró una diferencia estadística los valores de café liofilizado y café tostado molido con un valor ($p \leq 0,05$).

Tabla 5. Resultado de polifenoles totales

Análisis	Café liofilizado		Café tostado molido	
	GL	CL	GTM	CTM
Fenoles totales (mg EAG/g)	22,0 ± 0,03 ^a	19,2 ± 0,05 ^b	16,0 ± 0,02 ^c	14,1 ± 0,02 ^d

Los valores representan (Promedio ± DS) datos provenientes del experimento (n = 3), los valores de una misma columna son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

**Figura 14.** Contenido de polifenoles totales de café liofilizado y tostado molido (Geisha y Caturra).

Estos resultados son superiores a lo reportado por Cruzalegui et al. (2021) en la determinación de contenido de polifenoles de café liofilizado 4.795 mg EAG/g, esta variación es debido al clima, altitud, tipo de suelo y manejo agronómico de cultivos. A su vez Bedoya-Ramirez et al. (2017) obtuvo resultado mayor a lo reportado 73.0 ± 1.8 mg EAG/g, esto sería debido al grado de tostado del café ya que pueden aumentar o disminuir el contenido de polifenoles. Pacheco-Coello et al. (2020) reportaron resultados mayores de tres marcas de cafés venezolanos $34,36 \pm 0,98$; $27,65 \pm 1,22$ y $41,10 \pm 1,14$ mg EAG/g y por otro lado Janda et al. (2020) reportó en su estudio de contenido de polifenoles de origen (Brasil, Colombia, Etiopia e India) obtuvieron resultados mayores a lo reportado en un rango de $29,21 \pm 0,37$ a $43,00 \pm 0,37$ esto es debido a que se realizó el estudio en tres grados de tueste de café, el menor valor corresponde a un tueste fuertemente oscuro y el mayor a un tueste ligero.

4.4. Comportamiento térmico de café tostado molido y liofilizado de las variedades geisha y caturra

Mediante el análisis termogravimétrico (TGA) se realiza estudios de degradación térmica de una diversidad de productos. Los resultados de degradación de las muestras de café tostado molido y liofilizado de las variedades geisha se muestran en la Tabla 6 y Figura 15, en ella se puede observar las zonas de pérdida de masa. Para el tostado, la primera comprendida entre 32,18 a 155,69 °C y para el liofilizado entre 27,85 a 137,58 °C, en donde se considera una pérdida de masa 5,35% y 4,20%. Los resultados para café tostado y liofilizado de la variedad caturra se muestran en el Tabla 7 y Figura 13, en ella también se aprecian 4 zonas de pérdida de masa, en la primera zona para el café tostado es de 32,57 a 170,72 °C y liofilizado 28,15 a 137,67 °C, de las cuales se puede apreciar una pérdida de masa de 5,62% y 4,59%, debido al desprendimiento de la humedad y algunos compuestos volátiles para ambas variedades.

Tabla 6. Comportamiento térmico de café geisha tostado molido y liofilizado

Muestras	Parámetros	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Geisha Tostado	Ti/°C	32,18±1,04 ^a	205,50±0,47 ^b	349,69±1,62 ^b	415,70±0,32 ^b
	Tf/°C	155,69±2,23 ^a	349,26 ±1,42 ^b	415,06±2,13 ^b	552,95±0,16 ^b
	ΔT/°C	123,51±1,43 ^a	143,76±1,87 ^a	65,37±2,94 ^a	139,25±0,27 ^a
	Tp/°C	88,96±2,55 ^a	291,86±0,37 ^b	386,54±0,93 ^b	n.d.
	Δm %	5,35±0,08 ^a	43,73±0,43 ^a	15,78±0,40 ^b	10,07±0,25 ^a
Geisha Liofilizado	Ti/°C	27,85±0,59 ^b	216,53±1,7 ^a	359,87±0,08 ^a	428,73±0,61 ^a
	Tf/°C	137,58±1,03 ^b	359.87±0.08 ^a	428,73±0,61 ^a	554,30±0,34 ^a
	ΔT/°C	109,73±1,07 ^b	143,34±1,66 ^a	68,86±0,68 ^a	125,57±0,50 ^b
	Tp/°C	77,88±0,69 ^b	300,15±0,31 ^a	392,78±0,22 ^a	n.d.
	Δm %	4,20±0,04 ^b	44,84±0,63 ^a	19,65±0,31 ^a	8,28±0,09 ^b

Ti: Temperatura inicial; Tf Temperatura final; Tp: Temperatura Pico; n.d.: no detectable; Δm %: porcentaje de pérdida de masa. Valores de una misma columna que muestra una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$) según la prueba t-Student.

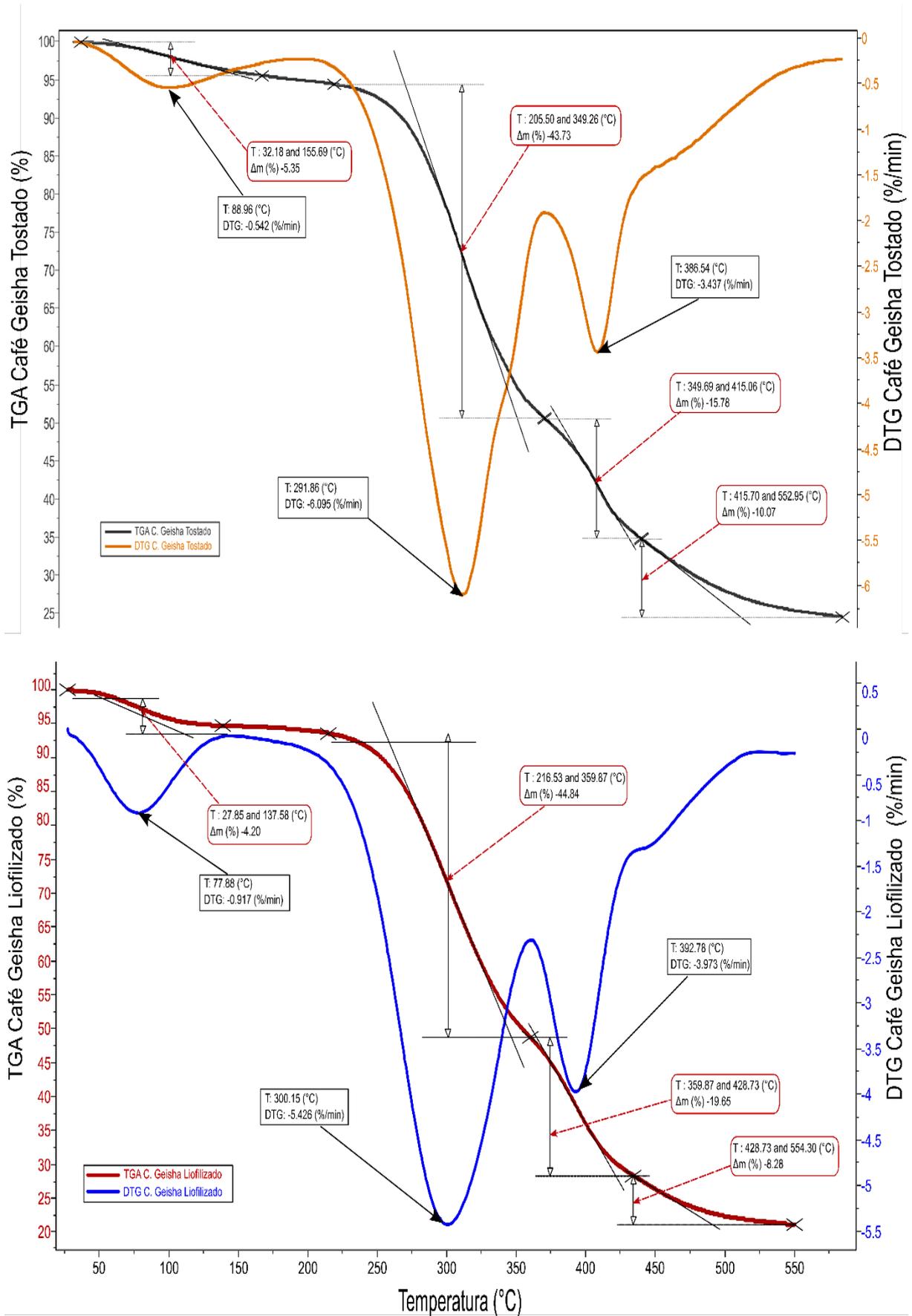


Figura 15. TGA / DTG de café geisha tostado y liofilizado

Los resultados de la disminución de masa fueron similares a lo informado por Brachi et al. (2021), quienes indican que en la primera etapa en menor a 100 °C se exhibe una pérdida de masa de 3% que atribuye a la eliminación de humedad en café tostado. A su vez Pereira et al. (2005), menciona que en la primera etapa en un rango de temperatura de ambiente a 140°C corresponde al proceso de deshidratación con una pérdida de masa de 4,3% en café tostado y 3% en café liofilizado que hubo una liberación de compuestos volátiles. Ballesteros et al. (2017) en su estudio de café liofilizado reportó en la primera descomposición a temperaturas de 25 a 180°C que se asoció con la evaporación del agua. De acuerdo con (Rafael y Gómez, 2021) durante la primera etapa de 34 a 168°C hay una pérdida de humedad.

Como se muestra en la Tabla 6 y Figura 15 en la segunda zona se registró el mayor valor de degradación; para el café geisha tostado de 43,73% (entre los 205,50 °C y 349,69 °C), con un pico máximo de 291,86 °C; y para el café liofilizado de 44,84% (entre los 216,53 °C y 359,87 °C), con un pico máximo de 300,15 °C. Por otro lado, para la variedad caturra tostado entre los 214,92 a 344,69°C con una pérdida de masa de 42,73%; y para caturra liofilizado entre los 207,20 a 359,79°C con una pérdida de masa de 46,74%. Terroba (2021) reporta que el rango de temperatura de degradación comprende entre 200 a 350°C la cual está relacionado con la eliminación de cafeína, ácido clorogénico y otros compuestos aromáticos. Por otro lado, Grzelczyk et al. (2022) menciona que en esta etapa de degradación ocurre en el rango de temperatura de 130 a 400 °C, donde se observó la mayor pérdida de masa que se relaciona con el inicio de la degradación de polifenoles, grasas, proteínas, sacáridos y polisacáridos, así como de volátiles formados en el café tostado y liofilizado. En un rango de temperatura de 280 a 360 °C de acuerdo con Alghooneh et al. (2017) existe una degradación de la celulosa en cafés tostados y en café liofilizado hay sustancias solubles, y el principal componente termoestable es la cafeína y el ácido cafeico.

La tercera y cuarta zona corresponde a una descomposición lenta, para la variedad geisha tostado que comprendió desde 349,69 °C a 552,95 °C con 25,85% de disminución de masa y para el liofilizado entre 359,87°C – 554,30°C con una descomposición del 27,93%. Por otro lado, para la variedad caturra tostado comprendió desde 345,29 °C a 553,17 °C con una disminución de masa de 25,56% y en liofilizado 359,79 a 552,00 °C con descomposición del 27,94%. Estos resultados coinciden con lo reportado por Santana et al. (2021) quien menciona que en un rango de 285 °C y 520 °C corresponde al último pico de pérdida de masa por la descomposición de carbono por oxidación en café tostado y liofilizado. A su vez

Grzelczyk et al. (2022) indican que comienza la degradación por encima de 400 °C donde hubo una pérdida de masa de 31 a 37% en café liofilizado y tostado molido, que se relaciona con la degradación de contenido de minerales en muestras liofilizadas y celulosa en café tostado molido. Por otro lado, Pereira et al. (2005) reportan que a partir de los 465°C tiende a liberar compuestos volátiles existentes en pequeñas cantidades en café liofilizado, y en café tostado molido la descomposición de celulosa.

Tabla 7. Comportamiento térmico de café caturra tostado molido y liofilizado

Muestras	Parámetros	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Café Tostado	Ti/°C	32,57±0,57 ^a	214,92±0,75 ^a	345,29±0,87 ^b	411,95±2,83 ^b
	Tf/°C	170,72± 0,95 ^a	344,69±0,82 ^b	413,00±0,56 ^b	553,17±0,05 ^a
	ΔT/°C	138,15 ± 0,73 ^a	129,76 ± 0,79 ^b	67,72 ± 1,07 ^a	141,22 ± 2,86 ^a
	Tp/°C	96,16 ± 3,82 ^a	292,71 ± 0,44 ^b	381,07 ± 0,30 ^b	n.d.
	Δm %	5,62 ± 0,10 ^a	42,73 ± 0,43 ^b	15,04 ± 0,50 ^b	10,52 ± 0,56 ^a
Café Liofilizado	Ti/°C	28,15±0,41 ^b	207,20±0,81 ^b	359,79±0,34 ^a	430,77±0,21 ^a
	Tf/°C	137,67±0,99 ^b	359,79±0,34 ^a	430,83±0,26 ^a	552,00±0,70 ^a
	ΔT/°C	109,52 ± 1,35 ^b	152,59 ± 1,05 ^a	71,04 ± 0,50 ^a	121,23 ± 0,49 ^b
	Tp/°C	75,76 ± 1,73 ^b	299,64 ± 0,19 ^a	393,47 ± 0,40 ^a	n.d.
	Δm %	4,59 ± 0,03 ^b	46,74 ± 0,30 ^a	20,17 ± 0,28 ^a	7,77 ± 0,37 ^b

Ti: Temperatura inicial; Tf Temperatura final; Tp: Temperatura Pico; n.d.: no detectable; Δm %: porcentaje de pérdida de masa. Valores de una misma columna que muestra una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$) según la prueba t-Student.

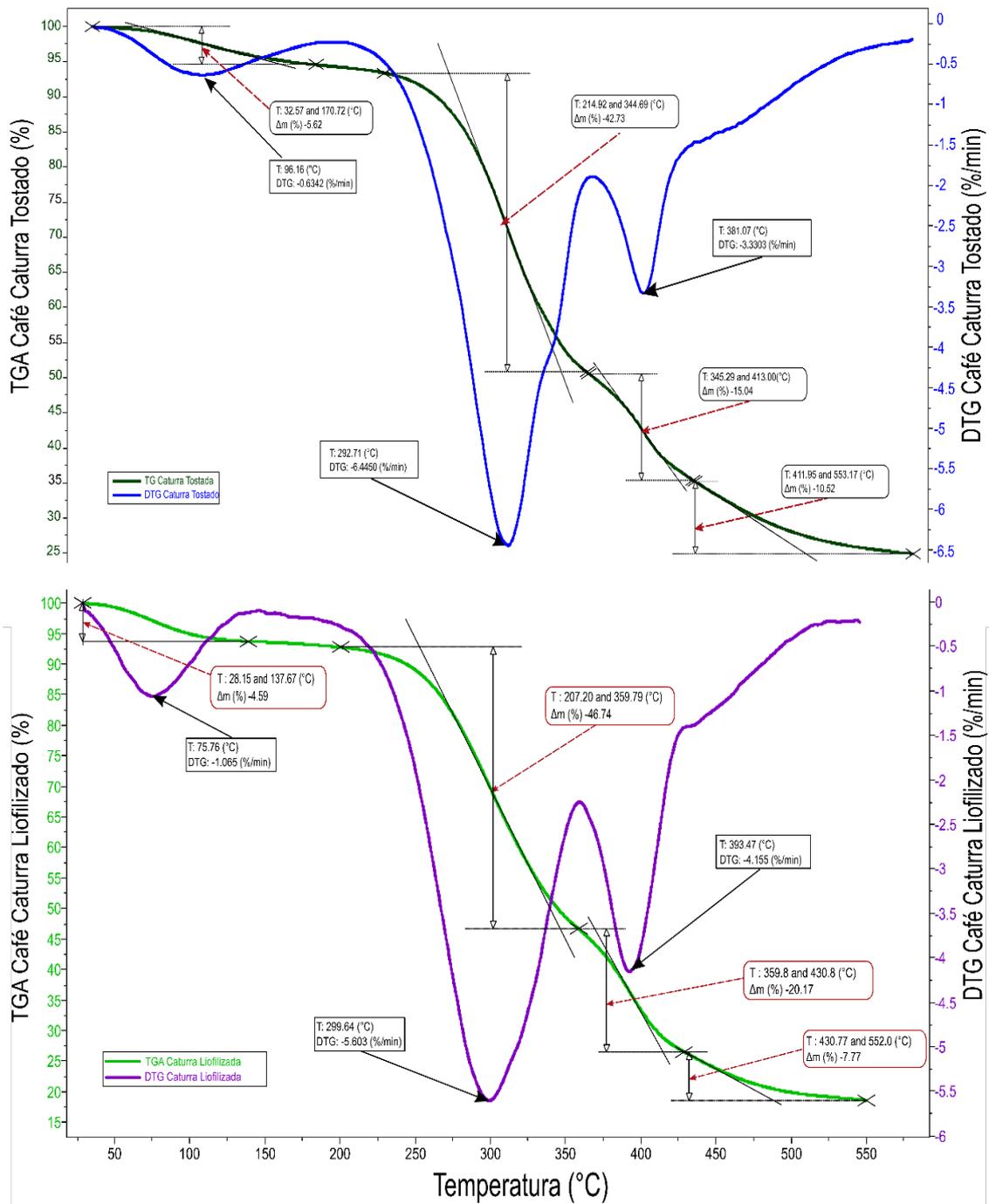


Figura 16. TGA / DTG de café caturra tostado y liofilizado

4.5. Características morfológicas del café liofilizado de las variedades geisha y caturra

El tamaño, forma y diámetro de las partículas mostradas en la micrografía electrónica del café liofilizado caturra (CL -30°C) y geisha (GL -30°C) como se muestran en el Tabla 8. Con respecto a la micrografía de café liofilizado caturra (Figura 8A) presenta partículas tupidas similar al de café liofilizado geisha (Figura 8C). Con respecto a la caracterización de la forma de partículas del café caturra se mostró de forma poliédrica y polígonos irregulares, por

otro lado, la forma de partículas de café geisha liofilizado presento las mismas formas que el café caturra. Con respecto a los resultados podemos indicar que concuerda con lo reportado por Ballesteros et al. (2017) en las partículas de café liofilizado encontró formas de polígonos irregulares. Por otro lado, Hernandez (2021) llegó a visualizar las nanopartículas de café liofilizado de tamaños similares, dispersas y esféricas. Anandharamakrishnan (2019) indica que las nanopartículas de café liofilizado tienen forma irregulares y escamosas con abolladuras. Por otro lado, Padma (2015) en su estudio comparativo de café liofilizado y café atomizado las partículas tienen una forma esférica, lisa y estructura escamosa.

Tabla 8. Caracterización morfológica de café liofilizado (caturrea y geisha) por microscopía electrónica de barrido.

Morfología y Tamaño	Caturra (CL -30°C)	Geisha (GL -30°C)
Forma	Poliédricos y polígonos irregulares	Poliédricos y polígonos irregulares
Rango de Tamaño (μm)	26,83 – 182,17	19,99 – 157,21
Promedio (μm)	66,05 \pm 2,67 ^a	56,26 \pm 2,27 ^b
$D_{[3,2]}$ (μm)	85,69	74,00

$D_{[3,2]}$: Diámetro sauter. Los valores representan (Promedio \pm DS) datos provenientes del experimento ($n = 3$), Valores de una misma fila con diferentes superíndices tiene una diferencia estadísticamente significativa con valores de ($p < 0,05$) según la prueba t-Student.

Con respecto al tamaño de partículas de café liofilizado de ambas variedades (Tabla 8) demostró una diferencia estadística significativa según la prueba t-Student ($p < 0,05$) de las dos variedades, el diámetro de partículas del café liofilizado caturra tuvo un rango de 26,83 a 182,17 μm ; y un promedio de 66,05 \pm 2,67 μm siendo superior al de café liofilizado geisha que tuvo un rango de 19,99 hasta 157,21 μm y un promedio de 56,26 \pm 2,27 μm . De acuerdo con los resultados obtenidos de tamaño de partículas concuerda con lo que ha reportado Ballesteros et al. (2017) donde reportó diámetros menores a 30 micrómetros en cafés liofilizados encapsulados con goma arábica y maltodextrina y por otro lado Padma et al. (2015) reportó 50,41 a 91,1 μm en café liofilizado. A su vez Deotale et al. (2020) indican que el tamaño de las partículas comprende de 329 a 433 nm (0,33 a 0,43 micrómetros). por otro lado, fueron menores a lo reportado por y Ella (2021) con un promedio de 18,7 micrómetros.

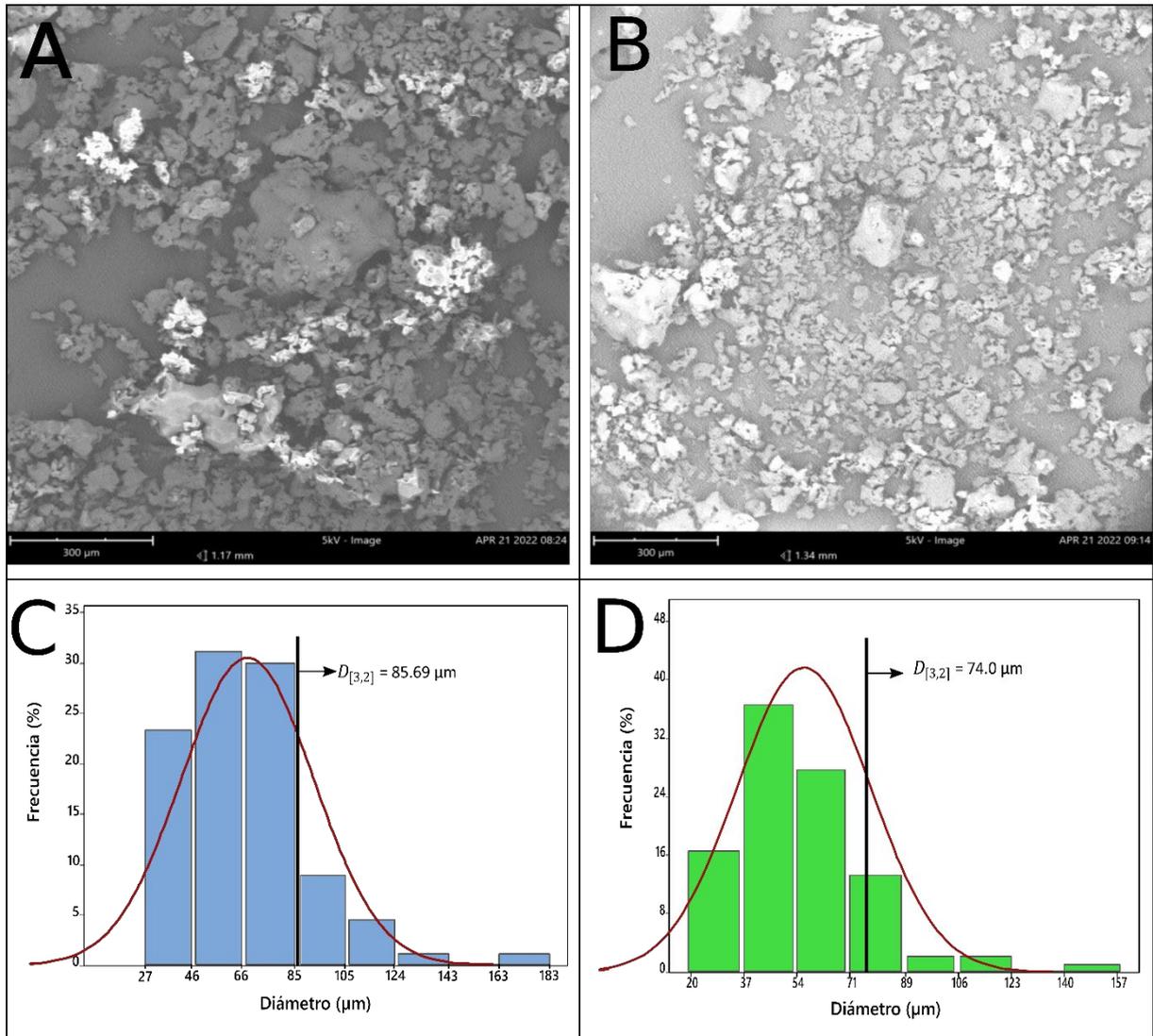


Figura 17. Morfología y distribución granulométrica del café liofilizado. CL -30°C (A, C) Caturra y (GL -30°C) (B, D) Geisha

Las distribuciones de tamaño de partícula de las muestras liofilizadas fueron monomodales, como se muestra en la (figura 15 C y D), de las cuales para en café caturra liofilizado se obtuvo un diámetro medio de 85,69 μm y en geisha liofilizado 74,00 μm, esto resultados se asemejan a los resultados obtenidos por (Anandharamakrishnan, 2019), en café atomizado que la distribución de diámetro de volumen medio fue monomodal y para café liofilizado el mismo autor menciona una distribución bimodal del tamaño de partículas ya que los cafés liofilizados pueden no ejercer un tamaño y forma definido de partículas como lo hacen en el atomizado.

V. CONCLUSIONES

- En la evaluación sensorial, la mayor calificación la obtuvo la bebida de café liofilizado a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la variedad caturra como “excelente” con 84,70 puntos, seguido de café liofilizado a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la variedad geisha con 84 puntos. Con respecto al tostado molido, ambos obtuvieron 85,10 puntos con calificación de excelente.
- En la cuantificación de contenido de polifenoles presentó mayor valor el café Geisha liofilizado ($22,0 \pm 0,03\text{ mg EAG/g}$) con capacidad antioxidante por DPPH ($0,51 \pm 0,01\text{ mmol ET/g}$); para el método ABTS ($0,89 \pm 0,01\text{ mmol ET/g}$) fue el café Caturra liofilizado.
- La caracterización morfológica de las partículas de café liofilizado geisha y caturra tuvieron formas poliédricas y polígonos irregulares, el gránulo promedio del café liofilizado caturra ($66,05 \pm 2,67$) fue mayor a la de geisha ($56,26 \pm 2,27$).
- Los espectros TGA y DTG del café tostado molido y liofilizado presentan una región de descomposición térmica, de las cuales el mayor rango de descomposición fue en la zona 2 para café geisha tostado molido ($205,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $349,26\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\Delta\text{m}\% 43,73$); geisha liofilizado ($216,53\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $359,87\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\Delta\text{m}\% 44,84$); caturra tostado molido ($214,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $344,69\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\Delta\text{m}\% 42,73$); caturra liofilizado ($207,20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $359,79\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\Delta\text{m}\% 46,74$).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Los procesos destinados a la fabricación de café instantáneo deben llegar a la calidad del producto requerida por las agencias de normas alimentarias, al mismo tiempo deben de satisfacer las expectativas del consumidor sobre el sabor y el aroma de la bebida de café.
- Determinar los perfiles de calidad organoléptica del café liofilizado en taza por variedades, con la finalidad de establecer la temperatura óptima de liofilizado que exige el mercado internacional.
- Implementar la trazabilidad desde la cadena productiva del café hasta su comercialización que exige las normas de los países importadores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alghooneh, A., Mohammad, A., Behrouzian, F & Razavi, S. (2017). Caracterización de la celulosa de la cascarilla de café. *Revista internacional de propiedades alimentarias*, 20 (11), 2830-2843.
- Anandharamakrishnan, C. (2019). Spray-Freeze-Drying of Coffee. Caffeinated and Cocoa Based Beverages, 337–366. doi:10.1016/b978-0-12-815864-7.00010-6
- Azcárate, L. (2016). *Efecto del aumento de la humedad en las características físico-químicas y sensoriales del café arábica*. [Tesis doctoral en tecnología y calidad en las industrias agroalimentarias, Universidad Pública de Navarra]. <https://www.unavarra.es/escuela-doctorado/tesis/repositorio-de-tesis>
- Ballesteros, L., Ramirez, M., Orrego, C., Teixeira, A & Mussatto, S. (2017). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food chemistry*, 237, 623-631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>
- Baluja, S., Bhalodia, R., Gajera, R., Bhatt, M & Bhesaniya, K. (2019). Análisis térmico de algunos nuevos derivados de pirimidina. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*, 48(2), 436. DOI:10.15446/rcciquifa.v48n2.82722
- Banegas, R, Y. (2009). *Identificación de las fuentes de variación que tienen efecto sobre la calidad del café (Coffea arabica) en los municipios de El Paraiso y Alauca, Honduras*. [Tesis de maestría en Scientiae en Agroforestería Tropical, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5207>
- Bedoya-Ramírez, D., Cilla, A., Contreras-Calderón, J., & Alegría-Torán, A. (2017). Evaluation of the antioxidant capacity, furan compounds and cytoprotective/cytotoxic effects upon Caco-2 cells of commercial Colombian coffee. *Food Chemistry*, 219, 364–372. doi:10.1016/j.foodchem.2016.09.159
- Brachi, P., Santes, V & Torres-Garcia, E. (2021). Pyrolytic degradation of spent coffee ground: A thermokinetic analysis through the dependence of activation energy on conversion and temperature. *Fuel*, 302, 120995. doi:10.1016/j.fuel.2021.120995
- Burbano, M; Cabrera, W. 2018. Conocer el perfil de taza generado mediante la implementación de los métodos de cafés naturales, honey y cafés lavados con la variedad castillo general en los asociados a la Cooperativa Departamental de Caficultores del Huila–Cadefihuila

- del municipio de Acevedo–Huila. Ciencias Agrícolas, Pecuaria y del Medio Ambiente. Huila. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 51 p.
- Cáceres, G. & Escobar, O. (2006). Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector agroindustrial del café. *Cuadernos de administración*, 19(31), 197-217.
- Chalfoun, M., Pereira, C., Carvalho, R., Pereira, A., Savian, V & Botelho, S. (2013). *Sensorial characteristics of coffee (Coffea arabica L.) varieties in the Alto Paranaíba region*, 21p.
- Chávez, A., & Gómez, E. (2021). Influencia de la altitud en la calidad y estabilidad térmica de granos de *Coffea arabica* L. *Agroindustrial Science*, 11(1), 7-16. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.01>
- Clarke, R. & Vitzthum, O. (2008). Coffee: recent developments, 2-97.
- Córdova-Ramos, S., Glorio-Paulet, P., Hidalgo, A & Camarena, F. (2020). Efecto del proceso tecnológico sobre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales del lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 157-165. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.02>
- Cruzalegui, J., Güivin, O., Fernández-Jeri, B & Cruz, R. (2021). Caracterización de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de pulpa de café (*Coffea arabica* L.) deshidratada de tres fincas cafeteras de la región Amazonas (Perú). *Información tecnológica*, 32(5), 157-166. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500157>
- Deotale, M., Dutta, S., Moses, A & Anandharamakrishnan, C. (2020). Stability of Instant Coffee Foam by Nanobubbles Using Spray-Freezing Drying Technique. *Food and Bioprocess Technology*, 22-35. doi:10.1007/s11947-020-02526-6
- Díaz, M. (2020). *Evaluación sensorial, capacidad antioxidante y polifenoles totales de mezclas de café arabica variedad caturra y catimor*. [Tesis de maestría en Ingeniería de Alimentos mención Ingeniería Agroindustria, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1843>
- Deotale, M., Dutta, S., Moses, A & Anandharamakrishnan, C. (2020). Stability of Instant Coffee Foam by Nanobubbles Using Spray-Freezing Drying Technique. *Food and Bioprocess Technology*. doi:10.1007/s11947-020-02526-6
- Dominguez, C., Reátegui, D. & Gómez, E. (2020). Fenoles totales, actividad antioxidante y evaluación sensorial del café tostado. *Agroindustrial Science*, 10(3), 241-248. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.04>
- Duicela, A., Velásquez, R., & Farfán, S. (2017). Organoleptic quality of Arabian coffees in relation to the varieties and altitudes of the growing areas, Ecuador. *Revista*

Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 18(1), 67-77.
<https://www.redalyc.org/.../index.html>

- Dybkowska, E., Sadowska, A., Rakowska, R., Debowska, M., Swiderski, F., & Swiader, K. (2017). Assessing polyphenols content and antioxidant activity in coffee beans according to origin and the degree of roasting. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 68(4).
https://wydawnictwa.pzh.gov.pl/roczniki_pzh/
- Her, Y. (2021). Development of novel spray freeze-drying method for value-added coffee powder preparation. *Korean Journal of Food Preservation*, 28(1), 99-106.
<https://doi.org/10.11002/kjfp.2021.28.1.99>
- Fermín, N., Soldevilla, G., García, J., & Bracho, N. (2012). Evaluación de la calidad físicoquímica y sensorial de tres marcas comerciales de café tostado y molido. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 428-438.
- Fernandes, C., Silva, A., Oliveira, S., & Miranda, M. (2014). The influence of peeling and type of drying on chemical and sensorial analysis of organic coffee. *Rev. Food Science and Technology*, Brasil. 34(2):230–234. Doi:10.1590/fst.2014.0036
- Ferrero, C. (2014). Curso básico de análisis térmico. Editorial Club Universitario.
- Folmer, B. (2016). *The craft and science of coffee*. Academic Press.
- Fonseca-García, L., Calderón-Jaimes, L. S., & Rivera, E. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de Santander (Colombia). *Vitae*, 21(3), 228-236.
<file:///C:/Users/DELL/Downloads/17258-Article%20Text-79325-2-10-20210429.pdf>
- Franco Villavicencio, C. F. (2017). *Estudio de tiempo de vida útil del café instantáneo*. [Tesis Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3021>
- Giacalone, D., Degn, K., Yang, N., Liu, C., Fisk, I., & Münchow, M. (2018). Common roasting defects in coffee: Aroma composition, sensory characterization and consumer perception. *Food Quality and Preference*, 71, 463-474. doi:10.1016/j.foodqual.2018.03.00
- Gotteland, M., & De Pablo, S. (2007). Algunas verdades sobre el café. *Rev. chilena de nutrición*. 34(2): 105-115. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002>
- Grzelczyk, J., Fiurasek, P., Kakkar, A. & Budryn, G. (2022). Evaluation of the thermal stability of bioactive compounds in coffee beans and their fractions modified in the roasting process, *Food Chemistry*, 387, 132-888.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132888>

- Guambi, D., Cedeño, V., & Talledo, F. (2017). Calidad organoléptica de cafés arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas de cultivo, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 67-77. <https://www.redalyc.org/journal/813/81351597010/movil/>
- Guambi, D., Moreano, A., Talledo, F., & Cedeño, V. (2018). Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) en la amazonía del Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2). <https://www.redalyc.org/journal/813/81357541011/81357541011.pdf>
- Gustavo, B., Sarmiento, L., & Galligani, E. (2016). Evaluación de la diagénesis ósea mediante el uso de microscopía electrónica de barrido (MEB): aproximaciones analíticas aplicables a muestras arqueológicas. *Revista argentina de antropología biológica*, 18(2), 0-0. <http://dx.doi.org/10.17139/raab.2016.0018.02.03>.
- Henao, J. (2015). *Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza*. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. [Tesis grado de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56186>
- Hernández Celis, J. A. (2021). *Síntesis de nanopartículas de oro con extracto vegetal de café (Coffea arabica L.)*. [Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/16053>
- Hoffmann, J. (2018). *The World Atlas of Coffee: from beans to brewing-coffees explored, explained and enjoyed*. Mitchell Beazley.
- Ishwarya, S., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Spray-Freeze-Drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 149, 171–180. doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.10.01
- Janda, K., Jakubczyk, K., Baranowska-Bosiacka, I., Kapczuk, P., Kochman, J., Rębacz-Marón, E., & Gutowska, I. (2020). Mineral composition and antioxidant potential of coffee beverages depending on the brewing method. *Foods*, 9(2), 121. doi:10.3390/foods9020121
- López-García, J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnica mexicana*, 39(3), 297-304. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v39n3/0187-7380-rfm-39-03-00297.pdf>

- Macassi, S., & Ugaz, L. (1995). Liofilización. *Revista de Química*, 9(2), 173-183. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/5565-Texto%20del%20art%C3%ADculo-21431-1-10-20130416.pdf>
- Márquez-Romero, R., Huamán, S., Carrión Sánchez, M., Peña J., & Cabrera Márquez, S. (2020). Caracterización de la calidad física y sensorial de café de Cirialo-La Convención-Cusco-Perú. *Revista de Investigación Científica Tayacaja*. 3(2). <https://doi.org/10.46908/riict.v3i2.106>
- Martínez, M. (2016). *Efecto de la composición del café cosechado (Coffea arábica L.) sobre la calidad sensorial de la bebida en fincas con potencial de producción de cafés especiales en el suroeste del departamento de Antioquia*. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. [Tesis de Maestría en Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56197>
- Mehaya, M., & Mohammad, A. (2020). Thermostability of bioactive compounds during roasting process of coffee beans. *Heliyon*, 6(11), e05508. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05508>
- Obregón, A., & Obregón, F. (2019). Obtención de un alimento liofilizado a base de maracuyá (*Passiflora edulis*) y camu camu (*Myrciaria dubia*). *Journal of Agro-Industry Sciences*, 1(1), 17-24. <http://dx.doi.org/10.17268/JAIS>
- Oliveira, D., Cabral, A., Eberlin, N., & Cordello, B. (2009). Sensory evaluation of black instant coffee beverage with some volatile compounds present in aromatic oil from roasted coffee. *Food Science and Technology*, (29), 76-80. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000100012>
- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad, (3), 219–234. *Cenicafé*. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12
- Oviedo, L. (2017). *Determinación del nivel óptimo de temperatura y tiempo de tostado del café verde (Coffea arábica L.) variedad Catimor, en relación a la calidad sensorial del café tostado, de Quillabamba-Cusco, 215*. [Tesis Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3086>
- Pacheco-Coello, F., Orosco-Vargas, C., Peraza-Marrero, M., Ramirez-Azuaje, D., Catari, I. (2020). Determination of total phenols and antioxidant activity of aqueous extracts of three marks of coffee (*Coffea arabica*) Venezuela, (32). <https://www.researchgate.net/profile/Franklin-Coello/publication/342852347>

- Paz, E., Rosero, G., & Sánchez, M. (2013). Caracterización de taza de café especial en el municipio de Chachagüí, departamento de Nariño, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 11(2), 85-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117705>
- Pereira, C. A., Schnitzler, E., & da Silva Carvalho Filho, M. A. (2005). Estudio Termoanalítico (TG, DTG e DSC) dos Cafés In Natura e Processados. Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, *Agrárias e Engenharias*, 11(01).
- Pielichowska, K., & Nowicka, K. (2019). Analysis of nanomaterials and nanocomposites by thermoanalytical methods. *Thermochimica Acta*, 675, 140-163.
- Prin, J. L., Hernández, G., & de Gáscue, B. R. (2010). Operando el microscopio electrónico como herramienta para el estudio de los polímeros y otros materiales. I. El microscopio electrónico de barrido (MEB). *Revista iberoamericana de polímeros*, 11(1), 26-42.
- Puerta, G. I., & Echeverri, L. F. (2019). Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café y las temperaturas de torrefacción.
- Puerta-Quintero, G. (2016). Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelo y buenas prácticas de beneficio. *Rev. Cenicafé, Colombia*. 67(1):7-40. <http://hdl.handle.net/10778/676>
- Rami, M., Patel, D., Patel, M., & Patel, V. (2021). Thermogravimetric analysis (TGA) of some synthesized metal oxide nanoparticles. *Materials Today: Proceedings*, 43, 655–659. doi:10.1016/j.matpr.2020.12.554
- Ramírez-Navas, J. S. (2006). Liofilización de alimentos. *Revista ReCiTeIA*,(6) 8-24.
- Riaño-Luna, E. (2013). Efecto de la humedad del café crudo en las propiedades del café tostado1. *Entramado*, 9(2), 214-222. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5466455>
- Rodríguez, R., San Martín, E., & de la Cruz, G. (2001). Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Superficies y vacío*, (13), 61-65. <https://www.redalyc.org/pdf/942/94201316.pdf>
- Rojas, Y., & Vergara, M. (2022). *Elaboración de yogur batido con extracto de quinua roja para elevar su capacidad antioxidante y valor nutricional*. [Tesis en Ingeniería Química, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10596>
- Rosas, J., Escamilla, E., & Ruiz, O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n4/v26n4a10.pdf>

- Routray, W., & Orsat, V. (2013). Preparative Extraction and Separation of Phenolic Compounds. *Natural Products*, 2013–2045. doi:10.1007/978-3-642-22144-6_55
- Sánchez Paredes, C. (2019). *Estudio preliminar de la activación comparativa con hidróxido de sodio e hidróxido de potasio mediante áreas superficiales y microscopía electrónica de barrido SEM del carbón pirolítico obtenido de la balsa ochroma pyramidale*. [Tesis de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19239>
- Sánchez, A., & Anzola, C. (2012). Caracterización química de la película plateada del café (*Coffea arábica*) en variedades colombiana y caturra. *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 211-226. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/39370/41265>
- Santana, S. Alves, P. da Silva, M. Francisquini, E & Guerreiro, C (2020). Hydrochar production from defective coffee beans by hydrothermal carbonization. *Bioresource Technology*, 300, 122653. doi:10.1016/j.biortech.2019.1226
- Schick, C. (2012). Calorimetry. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 793-823. doi:10.1016/b978-0-12-803581-8.01340-0
- Schouten, A., Tappi, S., Angeloni, S., Cortese, M., Caprioli, G., Vittori, S., & Romani, S. (2021). Acrylamide formation and antioxidant activity in coffee during roasting—A systematic study. *Food Chemistry*, (43) 128514. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128514>
- Skoog, A., Holler, J., & Crouch, R. (2019). *Espectrometría de masas molecular. Principios de Análisis Instrumental*. Cengage: Boston, MS, USA.
- Steen, I., Waehrens, S., Petersen, A., Münchow, M., & Bredie, P. (2017). Influence of serving temperature on flavour perception and release of Bourbon Caturra coffee. *Food Chemistry*, (19) 61–68. doi:10.1016/j.foodchem.2016.09.113
- Stevenson, E., & Hurst, D. (2007). Polyphenolic phytochemicals—just antioxidants or much more. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 64(22), 2900-2916. <https://doi.org/10.1007/s00018-007-7237-1>
- Suárez C., Rodríguez, E., & Duran, H. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta agronómica*, 64(4), 342-348.
- Sullca, C. (2022). *Influencia de la fermentación y secado en la calidad sensorial del café (Coffea arábica L.) cultivar Catimor en Andihuela-Santa Teresa-La Convención-Cusco*.

- [Tesis grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco]. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6864>
- Surco-Laos, F., Tipiana, R., Torres, Y., Valle, M & Panay, J. (2017). Efectos de liofilización sobre composición química y capacidad antioxidante en pulpa de cuatro variedades de *Mangifera indica*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(4), 412-419. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2017000400006&script=sci_arttext
- Terroba, E. (2021). *Desarrollo y caracterización de Wood Plastic Composites con matrices de biopolietileno y residuos de grano de café procedente de destilería*. [Tesis en Ingeniería de Procesos y Materiales, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/174189>
- Tolozá, S., & Pérez, C. (2021). Evaluación de la calidad de café en taza de una muestra comercial de la región frente a una muestra comercial de alta calidad tipo exportación. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 19(1), 17-34. <http://orcid.org/0000-0003-3591-5828>
- Tovar, J. 2013. *Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera*. [Tesis Químico Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira. 150 p. <https://repositorio.utp.edu.co/items/32d48e6c-0676-44c3-bde6-c827ea08f7dd>
- Vega, A., De León, A., & Reyes, S. M. (2017). Determinación del contenido de polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante de 34 cafés comerciales de Panamá. *Información tecnológica*, 28(4), 29-38.
- Vega, A., León, J. A. D., Reyes, S. M., & Gallardo, J. M. (2021). Modelo matemático para determinar la correlación entre parámetros fisicoquímicos y la calidad sensorial de café Geisha y Pacamara de Panamá. *Información tecnológica*, 32(1), 89-100.
- Vermerris, W., Nicholson, R. (2008). Families of Phenolic Compounds and Means of Classification. In: *Phenolic Compound Biochemistry*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5164-7_1
- Vierci, E., & Ferro, A. (2019). Capacidad antioxidante total vinculada a la ingesta de frutas y verduras en adultos jóvenes de Asunción, Paraguay. *Nutrición Hospitalaria*, 36(1), 118-124. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.02074>
- Villalón-López, N., Serrano-Contreras, I., Téllez-Medina, I., & Zepeda, G. (2018). An 1H NMR-based metabolomic approach to compare the chemical profiling of retail samples of ground roasted and instant coffees. *Food Research International*, 106, 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.077>

Zhang, T., Wang, Z., Wang, Y., Wei, Z., Li, X., Hou, X., & Qian, Y. (2019). The characteristics of free/bound biomarkers released from source rock shown by stepwise Py-GC-MS and thermogravimetric analysis (TGA/DTG). *Journal of Petroleum Science and Engineering*. doi:10.1016/j.petrol.2019.04.060

ANEXO

F-IPrueba t-studen para temperatura inicial T_i ($^{\circ}\text{C}$) Café caturra

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	T_i ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	28.15	-6.3	4	0.0032
Zona 2	T_i ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	207.2	-6.96	4	0.0022
Zona 3	T_i ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	359.79	15.56	4	0.0001
Zona 4	T_i ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	430.77	6.64	2	0.0219

F-IIPrueba t-studen temperatura final T_f ($^{\circ}\text{C}$) Café caturra

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	T_f ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	137.67	-24.2	4	<0.0001
Zona 2	T_f ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	359.79	17.04	4	0.0001
Zona 3	T_f ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	430.83	29.08	4	<0.0001
Zona 4	T_f ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	552	-1.68	2	0.2347

F-IIIPrueba t-studen para variación de temperatura ΔT ($^{\circ}\text{C}$) en Café Caturra

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	109.52	-18.64	4	<0.0001
Zona 2	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	152.59	17.41	4	0.0001
Zona 3	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	71.04	2.82	4	0.0476
Zona 4	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	121.23	-6.89	4	0.0023

F-IVPrueba t-studen temperatura pico T_p ($^{\circ}\text{C}$) en Café Caturra

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	T_p ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	75.76	-4.87	4	0.0082
Zona 2	T_p ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	299.64	14.32	4	0.0001
Zona 3	T_p ($^{\circ}\text{C}$)	C. Liofilizado	C. Tostado	393.47	24.97	4	<0.0001

F-VPrueba t-studen para variación de masa Δm % en Café Caturra

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	Δm %	C. Liofilizado	C. Tostado	4.59	-9.48	4	0.0007
Zona 2	Δm %	C. Liofilizado	C. Tostado	46.74	7.64	4	0.0016
Zona 3	Δm %	C. Liofilizado	C. Tostado	20.17	9	4	0.0008
Zona 4	Δm %	C. Liofilizado	C. Tostado	7.77	-4.11	4	0.0147

F-VIPrueba t-studen para temperatura inicial T_i (°C) Café Geisha

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	T_i (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	27.85	-3.62	4	0.0223
Zona 2	T_i (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	216.53	6.26	4	0.0033
Zona 3	T_i (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	359.87	6.26	2	0.0246
Zona 4	T_i (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	428.73	21.68	4	<0.0001

F-VIIPrueba t-studen para temperatura final T_f (°C) Café Geisha

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	T_f (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	137.58	-7.38	4	0.0018
Zona 2	T_f (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	359.87	7.46	2	0.0175
Zona 3	T_f (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	428.73	6.18	4	0.0035
Zona 4	T_f (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	554.3	3.64	4	0.022

F-VIIIPrueba t-studen para variación de temperatura ΔT (°C) en Café Geisha

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	ΔT (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	109.73	-7.73	4	0.0015
Zona 2	ΔT (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	143.34	-0.17	4	0.0236
Zona 3	ΔT (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	68.86	1.16	4	0.032
Zona 4	ΔT (°C)	G. Liofilizado	G. Tostado	125.57	-24.02	4	<0.0001

F-IX

Prueba t-studen temperatura de pico Tp (°C) en Café Geisha

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	Tp (°C)	{G. Liofilizado}	{G. Tostado}	77.88	-4.19	4	0.0138
Zona 2	Tp (°C)1	{G. Liofilizado}	{G. Tostado}	300.15	17.33	4	0.0001
Zona 3	Tp (°C)2	{G. Liofilizado}	{G. Tostado}	392.78	6.51	4	0.0029

F-XPrueba t-studen para variación de masa Δm % en Café Geisha

Zona	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	gl	p-valor
Zona 1	Δm (%)	{G. Liofilizado}	{G. Tostado}	4.2	-13.15	4	0.0002
Zona 2	Δm (%)	{G. Liofilizado}	{G. Tostado}	44.84	1.45	4	0.2211
Zona 3	Δm (%)	{G. Liofilizado}	{G. Tostado}	19.65	7.66	4	0.0016
Zona 4	Δm (%)	{G. Liofilizado}	{G. Tostado}	8.28	-6.74	4	0.0025

F-XI

Prueba t apareada para análisis de granulometría en liofilizado de café

Var 1	Var 2	Grupo 1	Grupo 2	Media	T	Bilateral
Caturra	Geisha	9,79	66,05	56,26	2,83	0,0058

F-XII

Análisis de varianza para polifenoles totales

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1,08	3	0,36	123,87	<0.0001
Tratamiento	1,08	3	0,36	123,87	<0.0001
Error	0,02	8	2,9E-03	-----	-----
Total	1,11	11	-----	-----	-----

F-XIII

Análisis de varianza para DPPH

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,03	3	0,01	171,57	<0.0001
Tratamiento	0,03	3	0,01	171,57	<0.0001
Error	4,7E-04	8	5,8E-05	-----	-----
Total	0,03	11	-----	-----	-----

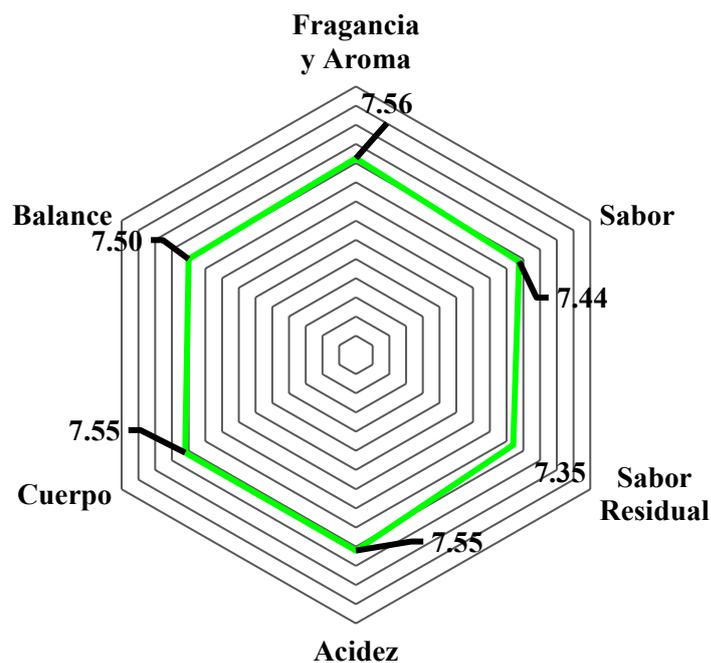
F-XIV

Análisis de varianza para ABTS

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,13	3	0,04	152,30	<0.0001
Tratamiento	0,13	3	0,04	152,30	<0.0001
Error	2,3E-03	8	2,9E-04	-----	-----
Total	0,14	11	-----	-----	-----

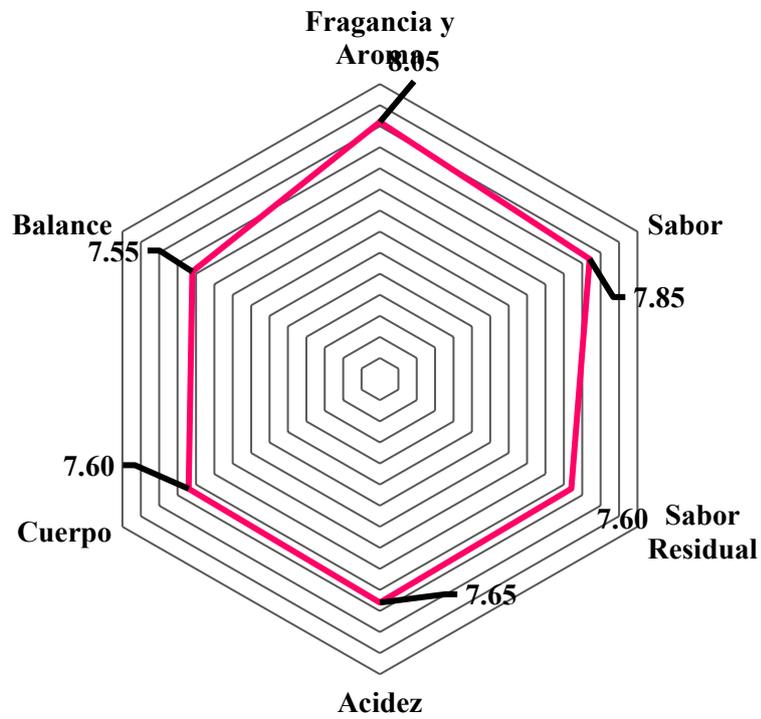
F-XV

Representación radial de los atributos de catación de café liofilizado Geisha a -20°C



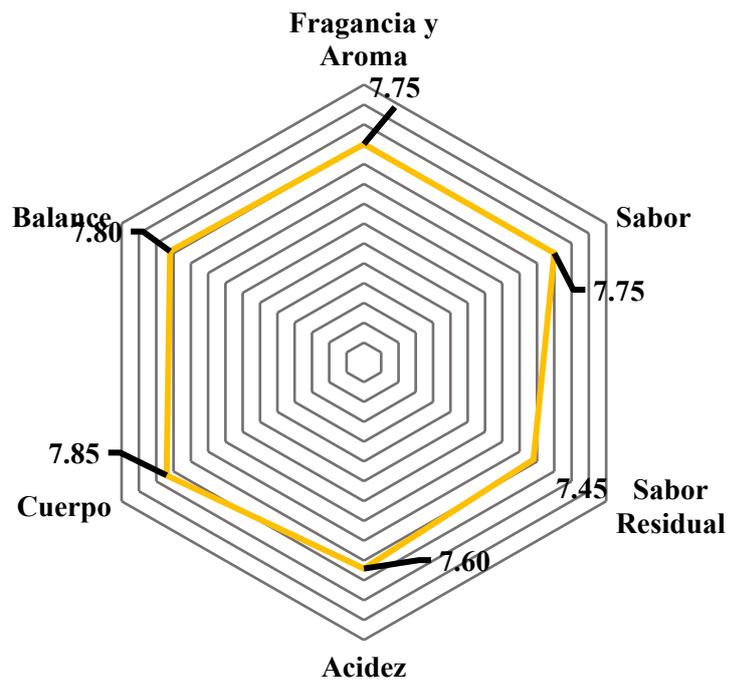
F-XVI

Representación radial de los atributos de catación de café liofilizado Geisha a -30°C



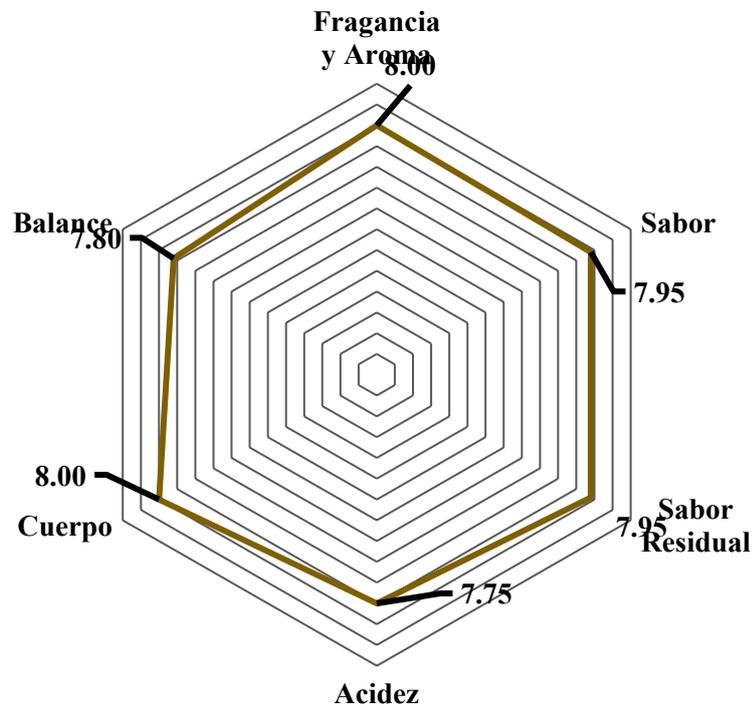
F-XVII

Representación radial de los atributos de catación de café liofilizado Geisha a -40°C



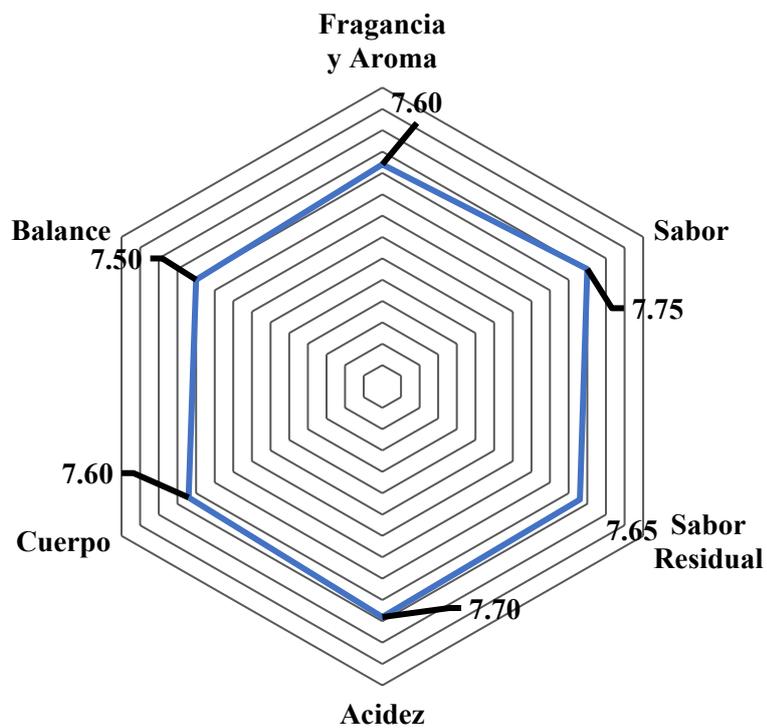
F-XVIII

Representación radial de los atributos de catación de café Geisha tostado molido



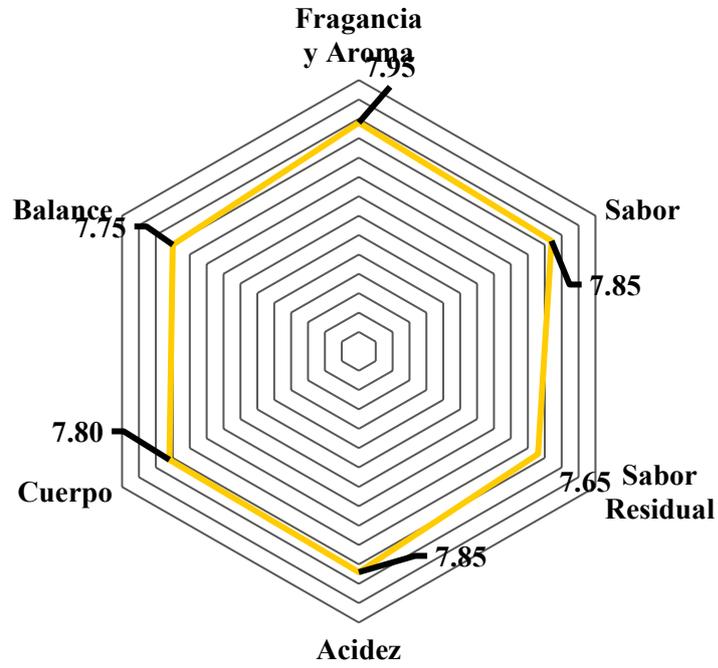
F-XIX

Representación radial de los atributos de catación de café liofilizado caturra a -20°C



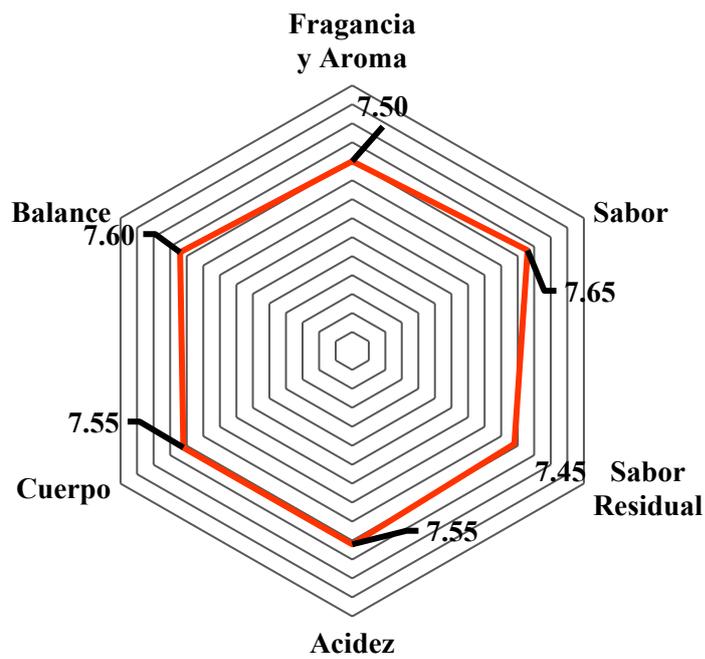
F-XX

Representación radial de los atributos de catación de café liofilizado caturra a -30°C



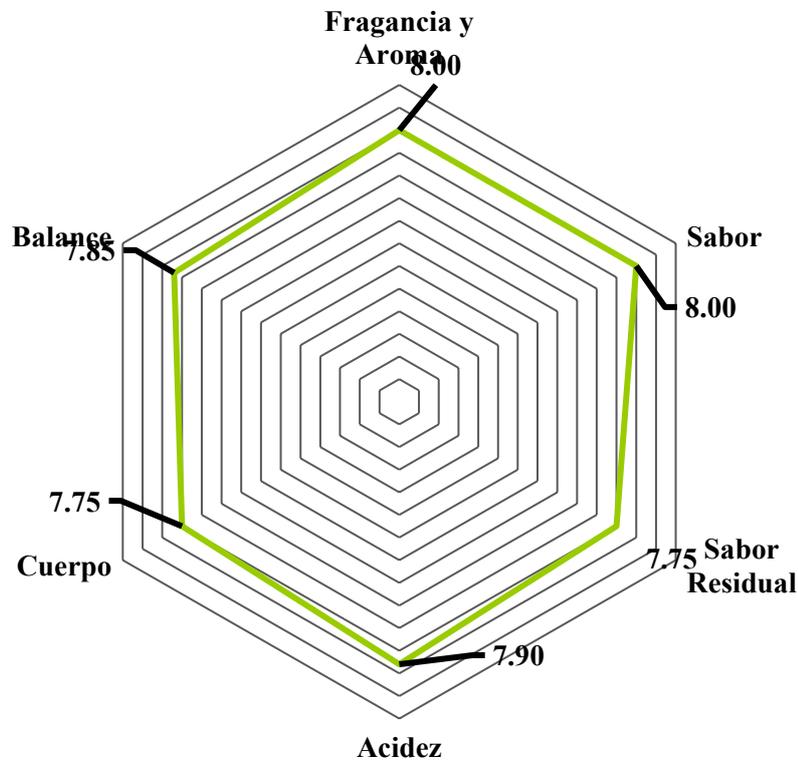
F-XXI

Representación radial de los atributos de catación de café liofilizado caturra a -40°C



F-XXII

Representación radial de los atributos de catación de café caturra tostado molido



F-XXIII

Tabla ANOVA para AROMA de café liofilizado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.16667	7	0.166667	64.00	0.0000
Intra grupos	0.0416667	16	0.00260417	-----	-----
Total (Corr.)	1.20833	23	-----	-----	-----

F-XXIV

Tabla ANOVA para SABOR de café liofilizado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.541667	7	0.077381	7.43	0.0005
Intra grupos	0.166667	16	0.0104167	-----	-----
Total (Corr.)	0.708333	23	-----	-----	-----

F-XXV

Tabla ANOVA para SABOR RESIDUAL de café liofilizado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.375	7	0.0535714	4.11	0.0091
Intra grupos	0.208333	16	0.0130208	-----	-----
Total (Corr.)	0.583333	23	-----	-----	-----

F-XXVI

Tabla ANOVA para ACIDEZ de café liofilizado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.614583	7	0.0877976	5.62	0.0021
Intra grupos	0.25	16	0.015625	-----	-----
Total (Corr.)	0.864583	23	-----	-----	-----

F-XXVII

Tabla ANOVA para CUERPO de café liofilizado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.25	7	0.0357143	2.74	0.0449
Intra grupos	0.208333	16	0.0130208	-----	-----
Total (Corr.)	0.458333	23	-----	-----	-----

F-XXVIII

Tabla ANOVA para BALANCE de café liofilizado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.239583	7	0.0342262	4.38	0.0069
Intra grupos	0.125	16	0.0078125	-----	-----
Total (Corr.)	0.364583	23	-----	-----	-----

