



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**EFEECTO DEL TIEMPO DE DESARROLLO Y TEMPERATURA DE  
TOSTADO EN LA CALIDAD SENSORIAL Y LAS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL  
CAFÉ VARIEDAD BOURBON PRODUCIDO  
EN ALTURA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. EFRAIN ARTURO QUISPE JUSTO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DEL TIEMPO DE DESARROLLO Y  
TEMPERATURA DE TOSTADO EN LA CA  
LIDAD SENSORIAL Y LAS CARACTERÍSTI  
CAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL CAFÉ VA  
RIEDAD BOURBON PRODUCIDO EN ALTU  
RA**

AUTOR

**EFRAIN ARTURO QUISPE JUSTO**

RECuento DE PALABRAS

**22796 Words**

RECuento DE CARACTERES

**121039 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**122 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 16, 2024 3:09 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 16, 2024 3:10 PM GMT-5**

● **12% de similitud general**


El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

  
CÉSAR PAUL LAQUI VILCA  
ING. AGROINDUSTRIAL  
Reg. CIP. 87710

  
Dr. César Alvarado Mamani  
Sub Director de la Unidad de  
Investigación EPIAI

Resumen



## DEDICATORIA

*A mi madre, fuente inagotable de amor, apoyo y comprensión. Gracias por estar a mi lado durante este emocionante viaje académico. Sus palabras alentadoras y sus ánimos constantes me dieron la fuerza para seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Sin su amor incondicional, esta tesis no habría sido posible.*

*A mis amigos y seres queridos, quienes me brindaron su compañía y alegría en los momentos de descanso. Agradezco sus risas, sus conversaciones y su paciencia mientras yo me sumergía en el mundo de la investigación. Siempre llevaré conmigo los recuerdos compartidos durante este período de mi vida.*

*A mis queridos docentes y mentores, quienes me guiaron con sabiduría y dedicación. Sus conocimientos y experiencias compartidas fueron invaluable para el desarrollo de este trabajo. Agradezco la inspiración que me brindaron para perseguir mis metas académicas y profesionales.*

*A todos aquellos que, de una forma u otra, contribuyeron a mi formación académica y crecimiento personal, mi más profundo agradecimiento. Este logro no solo es mío, sino también de todos ustedes que me acompañaron en este camino.*

*Finalmente, quiero dedicar este trabajo a quienes no tienen acceso a la educación, a aquellos cuyas voces no son escuchadas y a quienes enfrentan obstáculos para alcanzar sus sueños. Que este trabajo pueda ser una pequeña contribución para un mundo más justo y equitativo.*

*Gracias a todos por ser parte de este emocionante capítulo de mi vida.*

**Efrain Arturo Quispe Justo**



## AGRADECIMIENTOS

Quisiera aprovechar este espacio para expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis.

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a mi asesor de tesis, M. Sc. César Paul Laqui Vilca, por su guía, paciencia y constante apoyo durante todo este proceso. Sus valiosas recomendaciones y su dedicación a mi desarrollo académico fueron esenciales para la finalización de este proyecto.

Agradezco profundamente a mi familia por su apoyo constante, comprensión y aliento incondicional durante este viaje académico. Su amor y confianza fueron mi mayor motivación.

No puedo dejar de mencionar a mis amigos y compañeros de clase, quienes compartieron conmigo momentos de estudio, reflexión y motivación. Sus aportes fueron invaluable.

Finalmente, quiero rendir homenaje a todas las fuentes, bibliotecas y recursos que consulté para llevar a cabo esta investigación.

Este logro no habría sido posible sin la contribución de todos ustedes. A cada uno de ustedes, les estoy eternamente agradecido.

**Efrain Arturo Quispe Justo**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2. CAFÉ.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3. CALIDAD DEL CAFÉ.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4. BOURBON .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5. BENEFICIOS DEL CAFÉ.....</b>	<b>28</b>
<b>2.6. TOSTADO DE CAFÉ.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.1. Fases de tostado.....</b>	<b>31</b>



<b>2.7.</b>	<b>ALTITUD EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ .....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.</b>	<b>TEMPERATURA Y TIEMPO DE TOSTADO .....</b>	<b>33</b>
<b>2.9.</b>	<b>TIPOS DE TOSTADO DE CAFÉ .....</b>	<b>34</b>
2.9.1.	Tostado claro .....	34
2.9.2.	Tostado medio .....	34
2.9.3.	Tostado oscuro .....	35
<b>2.10.</b>	<b>ANÁLISIS SENSORIAL.....</b>	<b>36</b>
2.10.1.	Propiedades sensoriales.....	36
2.10.2.	Rueda de sabores del catador de café.....	37
2.10.3.	Catación del café .....	37
<b>2.11.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS .....</b>	<b>40</b>
2.11.1.	Acidez .....	40
2.11.2.	Brix.....	41
2.11.3.	Color.....	41

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1.</b>	<b>LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.</b>	<b>MATERIA PRIMA .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.</b>	<b>EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.</b>	<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>45</b>
<b>3.5.</b>	<b>FACTORES EN ESTUDIO .....</b>	<b>48</b>
3.5.1.	Para el primer objetivo .....	48
3.5.2.	Para el segundo objetivo .....	48
<b>3.6.</b>	<b>VARIABLES DE RESPUESTA .....</b>	<b>49</b>
3.6.1.	Para el primero objetivo .....	49



3.6.2. Para el segundo objetivo .....	49
<b>3.7. MÉTODO DE ANÁLISIS .....</b>	<b>50</b>
3.7.1. Determinación del efecto del tiempo de desarrollo (90, 120, 150 s) y temperatura (175, 185, 195°C) de tostado en la calidad sensorial del café variedad Bourbon producido en alturas entre 1500 y 2000 msnm.....	50
3.7.2. Determinación del efecto del tiempo de desarrollo (60, 90, 120 s) y temperatura (175, 185, 195°C) de tostado en las características química y física del café variedad Bourbon producido en alturas entre 1500 y 2000 msnm .....	53
<b>3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>55</b>
3.8.1. Diseño estadístico .....	55
3.8.2. Distribución de tratamiento.....	56
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. ANALISIS SENSORIAL DEL CAFÉ VARIEDAD BOURBON.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. CARACTERISTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL CAFÉ VARIEDAD BOURBON .....</b>	<b>82</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>105</b>

**Área:** Ingeniería y tecnología

**Línea:** Desarrollo de Procesos y Productos Agroindustriales Sostenibles y Eficientes

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 24 de julio del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Distribuciones de las muestras de café variedad Bourbon.....	56
<b>Tabla 2</b> ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo fragancia / aroma. ....	105
<b>Tabla 3</b> Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo fragancia / aroma. ....	105
<b>Tabla 4</b> ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo sabor. ....	106
<b>Tabla 5</b> Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo sabor. ....	106
<b>Tabla 6</b> ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial sabor del atributo residual.....	107
<b>Tabla 7</b> Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo sabor residual. ..	107
<b>Tabla 8</b> ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo acidez.....	108
<b>Tabla 9</b> Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo acidez. ....	108





<b>Tabla 10</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo cuerpo. ....	109
<b>Tabla 11</b>	Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo cuerpo.....	109
<b>Tabla 12</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo uniformidad. ....	110
<b>Tabla 13</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo balance.....	110
<b>Tabla 14</b>	Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo balance. ....	111
<b>Tabla 15</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo Taza limpia.....	111
<b>Tabla 16</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo Dulzor.....	112
<b>Tabla 17</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo Puntaje del catador. ....	112
<b>Tabla 18</b>	Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo puntaje del catador.. .....	113
<b>Tabla 19</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis químico Brix.....	113



<b>Tabla 20</b>	Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del Brix. ....	114
<b>Tabla 21</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis químico pH. ....	114
<b>Tabla 22</b>	Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del pH. ....	115
<b>Tabla 23</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis físico Color. ....	115
<b>Tabla 24</b>	Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del color. ....	116
<b>Tabla 25</b>	ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis químico Acidez Titulable. ....	116
<b>Tabla 26</b>	Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la Acidez Titulable. ....	117



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Estructura del fruto del café .....	26
<b>Figura 2</b> Beneficio del café por varios métodos .....	28
<b>Figura 3</b> Clasificación del grado de tueste de forma general en 3 tipos. ....	35
<b>Figura 4</b> Color de café verde.....	40
<b>Figura 5</b> Localización del proyecto.....	43
<b>Figura 6</b> Diagrama de flujo del procedimiento experimental en la investigación ....	46
<b>Figura 7</b> Comparación de las puntuaciones del atributo Fragancia / Aroma, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	60
<b>Figura 8</b> Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo fragancia / aroma. ....	61
<b>Figura 9</b> Comparación de las puntuaciones del atributo Sabor, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	63
<b>Figura 10</b> Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo sabor. ....	64
<b>Figura 11</b> Comparación de las puntuaciones del atributo Sabor Residual, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.....	66
<b>Figura 12</b> Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo sabor residual.....	67
<b>Figura 13</b> Comparación de las puntuaciones del atributo Acidez, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	69
<b>Figura 14</b> Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo acidez.....	70



<b>Figura 15</b>	Comparación de las puntuaciones del atributo Cuerpo, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	72
<b>Figura 16</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo cuerpo. ....	73
<b>Figura 17</b>	Comparación de las puntuaciones del atributo balance, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	75
<b>Figura 18</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo balance. ....	76
<b>Figura 19</b>	Comparación de puntuación del atributo puntaje del catador, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	80
<b>Figura 20</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo puntaje del catador. ....	81
<b>Figura 21</b>	Comparación de °Brix, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	82
<b>Figura 22</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo x Temperatura en el análisis °Brix. ....	83
<b>Figura 23</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo x Altitud en el análisis °Brix. ....	84
<b>Figura 24</b>	Interacciones de Temperatura x Altitud en el análisis °Brix. ....	85
<b>Figura 25</b>	Comparación del pH, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	86
<b>Figura 26</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo x Temperatura en el análisis pH. ....	88
<b>Figura 27</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo x Altitud en el análisis pH. ....	89
<b>Figura 28</b>	Comparación del color, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud. ....	90
<b>Figura 29</b>	Interacciones de Tiempo de desarrollo x Temperatura x Altitud en el análisis color. ....	91



<b>Figura 30</b>	Comparación de la acidez titulable, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.....	93
<b>Figura 31</b>	Tiempo de desarrollo en el análisis acidez titulable.....	94
<b>Figura 32</b>	Proceso de tostado de café.....	119
<b>Figura 33</b>	Preparación de muestras de café y codificación.....	119
<b>Figura 34</b>	Proceso de molienda del café tostado.....	119
<b>Figura 35</b>	Evaluación sensorial del atributo fragancia / aroma de las muestras de café. .....	119
<b>Figura 36</b>	Evaluación sensorial del atributo sabor de las muestras de café.....	119
<b>Figura 37</b>	Vertido del agua para la evaluación del atributo aroma.....	119
<b>Figura 38</b>	Evaluación sensorial de las muestras de café – catación.....	120
<b>Figura 39</b>	Proceso de tostado de muestras para catación.....	120
<b>Figura 40</b>	Preparación de muestras de café para el análisis químico y físico.....	120
<b>Figura 41</b>	Análisis de los grados Brix en las muestras extraídas de café.....	120
<b>Figura 42</b>	Determinación del color en las muestras molidas de café tostado.....	120
<b>Figura 43</b>	Análisis del pH en las muestras extraídas de café.....	120



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1.</b> Resultados del ANOVA y prueba de comparación de Tukey.....	105
<b>ANEXO 2.</b> Ficha de evaluación SCA.....	118
<b>ANEXO 3.</b> Panel fotográfico .....	119



## ACRÓNIMOS

<b>ANOVA</b>	: Análisis de Varianza.
<b>cm</b>	: Centímetros.
<b>CQI</b>	: Institute coffee quality (Instituto de calidad de café).
<b>CECOVASA</b>	: Central de Cooperativas Agrarias Cafetaleras de los Valles de Sandia.
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de Carbono.
<b>DCA</b>	: Diseño completamente al azar.
<b>EE UU</b>	: Estados Unidos.
<b>g</b>	: Gramos.
<b>INACAL</b>	: Instituto Nacional de Calidad.
<b>msnm</b>	: Metros sobre el nivel del mar.
<b>ml</b>	: Mililitro.
<b>mm</b>	: Milímetros.
<b>N</b>	: Normal.
<b>P</b>	: Probabilidad.
<b>pH</b>	: Potencial de Hidrógeno.
<b>SCA</b>	: Specialty Coffe Association (Asociación de Cafés Especiales).
<b>SCAA</b>	: Specialty Coffe Association of America (Asociación Americana de Cafés Especiales).
<b>s</b>	: Segundos.



<b>T°</b>	: Temperatura.
<b>TDS</b>	: Total de sólidos disueltos.
<b>UNAP</b>	: Universidad Nacional del Altiplano Puno.
<b>%</b>	: Porcentaje.
<b>°C</b>	: Grados centígrados.
<b>°F</b>	: Fahrenheit.
<b>μS/cm</b>	: microSiemens/cm.
<b>μm</b>	: Micra.





## RESUMEN

La producción del café (*Coffea arabica* L.) variedad Bourbon en la región de Puno ha permitido competitividad en el mundo debido a su alta calidad, sin embargo, algunos tostadores de café de especialidad enfrentan dificultades al tostar el café debido a la falta de conocimientos sobre los parámetros adecuados. El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto del tiempo de desarrollo y temperatura de tostado en la calidad sensorial y las características químicas y físicas del café variedad Bourbon producido a diferentes alturas. Se definieron en el tostado las variables de estudio considerando tres niveles, en el tiempo de desarrollo (90, 120 y 150 s); 3 niveles de temperatura (175, 185 y 195 °C) y 3 altitudes que fueron (1500 y 2000 msnm). El café tostado fue evaluado sensorialmente por 3 catadores profesionales, luego se analizaron las características químicas y físicas que fueron el ° Brix, el pH, la acidez titulable y el color. Respecto a la estadística, en ambos objetivos se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial de 3A x 3B x 2C con 3 repeticiones de ambos a un nivel de significancia  $p < 0.05$ , y la comparación múltiple de medias se realizó mediante la prueba Tukey. Se halló que la altura, la temperatura y el tiempo de desarrollo influyeron significativamente en la calidad sensorial en los atributos de fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance y puntaje del catador, en cuanto a los atributos dulzor, uniformidad y taza limpia no hubo significancia. El pH, el °Brix, acidez titulable y el color presentaron significancia a medida que el tiempo de desarrollo y la temperatura aumentaban. Este hallazgo sugiere que el café tostado a un menor tiempo de desarrollo, a una temperatura intermedia y mayor altitud presentaron una mejor calidad sensorial y características químicas y físicas.

**Palabras Clave:** Café, Café tostado, Catación de café, Café de altura, Variedad Bourbon.



## ABSTRACT

The production of coffee (*Coffea arabica* L.) Bourbon variety in the Puno region has allowed competitiveness in the world due to its high quality, however, some specialty coffee roasters face difficulties when roasting coffee due to lack of knowledge about the appropriate parameters. The objective of the present research work was to evaluate the effect of development time and roasting temperature on the sensory quality and chemical and physical characteristics of Bourbon variety coffee produced at different heights. The roasting variables were defined considering three levels of development time (90, 120 and 150 s), three levels of temperature (175, 185 and 195 °C) and three altitudes (1500 and 2000 m.a.s.l.). The roasted coffee was sensorially evaluated by 3 professional tasters, then the chemical and physical characteristics were analyzed, which were the ° Brix, pH, titratable acidity and color. Regarding statistics, in both objectives the Completely Randomized Design (CRD) was used with a factorial arrangement of 3A x 3B x 2C with 3 replications of both at a significance level  $p < 0.05$ , and the multiple comparison of means was performed by Tukey test. It was found that height, temperature and development time had a significant influence on sensory quality in the attributes of fragrance/aroma, flavor, residual flavor, acidity, body, balance and taster's score; for the attributes sweetness, uniformity and clean cup there was no significance. The pH, °Brix, titratable acidity and color showed significance as development time and temperature increased. This finding suggests that coffee roasted at a shorter development time, intermediate temperature and higher altitude presented better sensory quality and chemical and physical characteristics.

**Key words:** Coffee, Roasted coffee, Coffee cupping, High altitude coffee, Bourbon variety.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El tostado de café es una etapa importante del proceso de producción que define en gran medida las propiedades sensoriales y químicas finales del producto acabado. Este proceso provoca importantes cambios físicos y químicos en los granos de café, lo que repercute directamente en la síntesis de sustancias químicas volátiles, la descomposición de los ácidos clorogénicos y el desarrollo del perfil sensorial (Rao, 2014). Las propiedades físicas del café se alteran a grandes altitudes; el café suele ser más grande, más denso y tiene un surco irregular y cerrado. Por el contrario, el café de altitudes más bajas suele ser de color verde pálido, presenta un surco abierto, es de tamaño más regular y es menos denso. La altitud del cultivo de café influye significativamente en el perfil sensorial del producto final (Partelli, et al., 2022). Las condiciones climáticas distintivas de las zonas de mayor altitud, caracterizadas por temperaturas más frescas y climas más moderados, propician la conservación de ácidos orgánicos en los granos de café. Además, factores ambientales como la exposición solar, la calidad del suelo y el drenaje óptimo contribuyen a la formación de una amplia diversidad de compuestos aromáticos y de sabor en los granos. Estos compuestos pueden abarcar notas que van desde frutales hasta florales, cítricos, chocolate, especias, entre otros, dotando al café de altura de su perfil sensorial distintivo y complejo (Chávez & Ordoñez, 2021).

El proceso de tostado de los granos de café tiene por objeto convertirlos en una compleja mezcla de sustancias químicas sabrosas y agradables al paladar. Catadores formados evalúan estos sabores y traducen sus cualidades sensoriales en valores numéricos, lo que se conoce como puntuación en taza. Esta puntuación se utiliza en el comercio internacional para identificar las especialidades de café por las que los



consumidores están dispuestos a pagar precios elevados. Para mantener la calidad, el café especial debe manipularse con cuidado en todas las fases de elaboración, desde el campo hasta el envasado final del grano tostado (Cámara Peruana de Café y Cacao, 2017).

Los mecanismos químicos básicos que intervienen en el tueste del café han sido bien comprendidos gracias a estudios anteriores. Las primeras investigaciones, como la realizada por (Illy & Viani, 2005), han encontrado las intrincadas reacciones de Maillard y la descomposición de determinadas sustancias químicas, haciendo hincapié en el papel que desempeñan la temperatura y el tiempo en la producción de perfiles aromáticos distintivos. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en cepas genéricas y no han examinado las características únicas de cepas como la Bourbon que se cultivan a gran altitud.

En la actualidad existe un importante vacío de conocimientos sobre las formas precisas en que la temperatura de tostado y el tiempo de desarrollo repercuten en la variedad Bourbon a grandes alturas. A pesar de la creciente demanda de esta variedad en el mercado especializado y de su atractivo, no se ha investigado mucho sobre ella (Nayra, 2020). Existe escasez de investigaciones exhaustivas que exploren las relaciones específicas entre estos factores y cómo afectan a la composición química y las cualidades sensoriales de los granos de café tostados (Illy & Viani, 2005).

Por lo cual, en el presente trabajo de investigación se propone estudiar efecto del tiempo de desarrollo y temperatura de tostado en la calidad sensorial y las características químicas y físicas del café variedad Borbón producido en altura.

Considerando lo mencionado anteriormente, se plantearon los siguientes objetivos:



## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto del tiempo de desarrollo (60, 90, 120 s) y temperatura (175, 185, 195 °C) de tostado en la calidad sensorial y las características fisicoquímicas del café variedad Borbón producido en alturas entre 1500 y 2000 msnm.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Determinar el efecto del tiempo de desarrollo (90, 120, 150 s) y temperatura (175, 185, 195 °C) de tostado en la calidad sensorial del café variedad Bourbon producido en alturas de 1500 y 2000 msnm.

Determinar el efecto del tiempo de desarrollo (90, 120, 150 s) y temperatura (175, 185, 19 °C) de tostado en las características química y física del café variedad Bourbon producido en alturas de 1500 y 2000 msnm.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Dávila (2018), estudió la influencia de parámetros de tostado de café especial sobre el puntaje en taza, donde demostró que, en función a la temperatura de inicio del proceso de tostado, al analizar las muestras. Todas las cualidades sensoriales examinadas mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) sensoriales. Como resultado, las modificaciones de este factor repercutieron en los valores de la fragancia del aroma (con un valor medio más alto a 140 °C), el sabor (con un valor medio más alto a 140 °C), el sabor residual (con un valor más alto a 140 °C), la acidez (con una puntuación más alta a 135 °C), el cuerpo (con una media más alta a 140 °C), el equilibrio (con una media más alta a 140°C) y la puntuación del catador (la mejor puntuación a 140 °C, lo cual presentaron variaciones con respecto al proceso de tostado).

Díaz & Perdomo (2015), en su investigación caracterizó físico, química y sensorialmente las variedades de café (*Coffea arábica* L.), estas provinieron del occidente de honduras, cada tueste comenzó a una temperatura de 160 °C, y se mantuvo una temperatura final de 183 °C de media. Sin embargo, el tiempo medio de tueste de cada muestra fue diferente según el método de tueste, siendo 8,13 min para el tostado claro, 8,99 min para el tostado medio y 9,70 min para el tostado oscuro. Demostró que la cantidad de peso perdido depende del tiempo de tueste, del contenido de humedad y del tamaño de las partículas del grano; cuanto mayor sea el contenido de humedad, es más tiempo de tostado, y cuanto menor sea el tamaño de las partículas del grano, mayor será la pérdida de peso.



Chávez (2019), evaluó la calidad física, fisicoquímica y sensorial de granos de café verde oro (*Coffea arábica*) de diferentes zonas de Leoncio Prado donde se demostró mayor calificación de atributos de catación en cafés, donde los resultados fueron “muy bueno” para fragancia/aroma, sabor, postgusto, acidez, cuerpo y balance y “extraordinario” para uniformidad, taza limpia y dulzura; correlaciones entre fragancia/aroma y sabor (0,91), sabor y postgusto (0,95), postgusto y acidez (0,94) de zona alta; los de la mejor calidad sensorial fueron seis muestras de la zona alta y tres de media; los de mayor calidad en taza fue la zona alta ( $83,39 \pm 0,11$  puntos) y la zona media ( $81,12 \pm 0,84$  puntos) calificados muy bueno; la derivada de los espectros Termogravimetría (DTG) de los cafés variedad ZARA y ZBM de 203 a 236 °C es punto crítico para el proceso térmico que experimenta el grano en el tostado.

Torres (2021), realizó la valoración del rendimiento en taza de cafés arábigos en relación a la altitud de siembra para la variedad Caturra a 1200 msnm el porcentaje fue del 75%; a 1500 msnm el porcentaje fue del 82,83%; y a 1800 msnm el porcentaje fue del 85,25%. Mientras que la variedad catimor tuvo un 77,90% de rendimiento en taza para 1200 msnm.; 81,68% para la zona de 1500 msnm.; y 83,95% para los cafés de altitud de 1800 msnm., el café de la variedad caturra tuvo el mejor perfil de taza con una puntuación de 85 pts. obteniendo un café de Altura Selecto (HG- Selecto) con tonos buenos a excepcionales pertenecientes al café de la variedad caturra.

Paima (2017), estudió la influencia de tres pisos altitudinales en las características físicas y sensoriales del café (*Coffea arábica* L.) variedad Catimor en los distritos de Lamas y Alonso de Alvarado Roque, en la región de San Martín, Perú. El análisis físico reveló que los granos más grandes se encuentran en las proporciones superiores de ambas localidades, con un peso de 269 g en Alonso de Alvarado Roque y 211,9 g en Lamas. La porción inferior de Alonso de Alvarado Roque es la que presenta



más defectos, 51 en total, y las zonas media y elevada de Alonso de Alvarado Roque tienen el mayor rendimiento, 78%. No hubo variaciones significativas entre las localidades en la parte sensorial, ni en las alturas ni en la interacción. Sin embargo, existe una diferencia matemática en ambas localidades debido a las mayores puntuaciones de cata en la parte alta en ambas localidades. El estudio no descubrió ninguna diferencia significativa, ya que se eligieron los granos maduros para el examen y los granos de mejor calidad para el análisis físico y sensorial.

Mamani & Condori (2019), en su estudio sobre la evaluación de la calidad física y sensorial de tres variedades de café (*Coffea arábica* L.) en tres zonas agroecológicas del distrito de San Juan del Oro-Sandia”. Donde demostró que a mayor altura el rendimiento físico de café es menor y en la zona baja el rendimiento es mayor. La zona baja recibió un 78,63% para el factor altura, seguida de la zona alta con un 77,82% y la zona media con un 76,53%. Para el factor de variedad, la variedad Borbón tiene el mayor rendimiento (78,15%), seguida de la variedad catimor (77,53%) y caturra (77,00%). El comportamiento de los granos de café en diferentes pisos ecológicos de las variedades de café (*Coffea arabica* L.) en la calidad sensorial; la investigación demostró que la de taza es mejor a mayor altura, la zona alta obtuvo la mayor calificación con un 86.94 puntos seguido de la zona media con 86.29 puntos y la zona baja 84.73 puntos. La variedad catimor obtuvo la mayor puntuación del factor de variedad, de 86,01, seguida de la variedad caturra, con una puntuación de 85,95, y de la variedad borbón, con una puntuación de 86,00.

Ramos (2019), estudió la comparación de calidad de café (*Coffea arabica* L.) en San Juan del oro - Puno -Perú y Apolo la Paz - Bolivia” donde demostró que, en San Juan del Oro y Apolo, el café de mayor calidad alcanzó una puntuación de 88,7 y 86,5, respectivamente el promedio de humedad en San Juan del Oro fue de 9,5%, lo que indica





que los agricultores ofrecen un café pergamino más seco que el rango recomendado (10 a 12% de humedad), mientras que el promedio en Apolo fue de 11,86%, lo que indica que los agricultores entregan un café más húmedo, dentro del rango adecuado de conservación de la humedad. San Juan del Oro tuvo el mejor perfil organoléptico en taza, con notas "florales, miel, jazmín, complejas", mientras que Apolo presentó notas "cítricas, florales, mandarina", con rasgos comparables de "sabor floral, a miel y a fruta". Según la categorización de café de la Specialty Coffee Association of America, el 55,4% del café estudiado es de especialidad y el 44,4% es de origen especial. Se encuentra que el café de mayor calidad proviene de San Juan del Oro; sin embargo, Apolo produce un café con mayor conservación de humedad en los granos pergamino, lo que indica que existen distinciones organolépticas en ambas zonas de producción y características organolépticas comparables.

## 2.2. CAFÉ

Es una semilla procedente del árbol del cafeto, perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*. Los cafetos cultivados en el mundo a nivel industrial son de la especie *Coffea arábica* L. y *Coffea canephora* (Díaz, 2014).

El café crece de manera apropiada en la zona tórrida en lugares que reúnen condiciones especiales de suelo, temperatura, altitud y radiación solar (Prieto, 2002). Los suelos ricos en materia orgánica son ideales para el café. En general el suelo debe tener una profundidad de 80 cm para permitir la penetración de las raíces (Prieto, 2002).

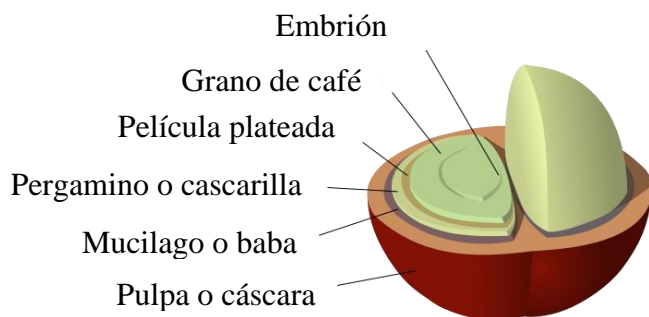
El café se desarrolla a lo largo de 32 semanas tras la floración del cafeto, pasando de un verde claro a un rojo oscuro o amarillo, dependiendo de la variedad. Cuando alcanza este color, se considera maduro y está listo para ser recolectado. La cereza del café se forma en racimos unidos a las ramas por tallos muy cortos (Díaz, 2014).

El café en la región de Puno ha sido consolidado como el mejor a nivel mundial, las principales exportaciones se hacen a Europa y EE.UU. El café de Puno tiene buen sabor, acidez, cuerpo aroma y amargura. Mayormente el café se cosecha en la ceja de selva como Sandía, estos lugares se caracterizan por tener un clima tropical, el clima es favorable para la producción en grandes cantidades como 115 mil quintales, las cuales son exportadas (Vargas, 2022).

Se presenta en la Figura 1 la anatomía interna del fruto del café, también conocido como cereza de café.

### Figura 1

#### *Estructura del fruto del café*



Fuente: (Vergara, 2020)

- **Embrión:** Se encuentra en la superficie de la semilla (Vargas, 2022).
- **Grano de café:** Cada cereza del café se conforma por dos semillas que pueden ser de consistencia dura y de un color verdoso o amarillento, el grano es la parte que se consume y se comercializa (Educafés, 2014).
- **Película plateada:** Es el que envuelve a la semilla (Vargas, 2022).
- **Pergamino o cascarilla:** De consistencia dura, pero frágil cuando se seca y de un color crema. Es una de las dos capas la cual protege y recubre el grano (Vargas, 2022).



- **Mucílago o baba:** Se conforma por más de 20 capas de células que cubre dos granos, que se conforma por una capa gruesa de tejido esponjoso de 5 mm de espesor y rico en azúcares (Vargas, 2022).
- **Pulpa o cáscara:** Capa que se encuentra externamente del fruto que protege y envuelve todo el fruto, el color dependerá de la madurez que posea. Empieza con un tono verde que va desde el amarillo, rojo o púrpuras. Dependiendo de su variedad de la planta podría estar de color amarillo o rosado (Vargas, 2022).

### 2.3. CALIDAD DEL CAFÉ

Muchos elementos, como el origen, el medio ambiente, los métodos de cultivo y producción y el proceso de comercialización, confluyen para producir un café de alta calidad. Para evaluar la calidad del café se recurre tanto a un estudio físico como a un análisis organoléptico o sensorial. Dicho de otro modo, evaluar la calidad del café implica evaluar tanto los granos de café como la infusión en la taza para determinar sus cualidades y defectos (Arboleda & Alonso, 2015)

### 2.4. BOURBON

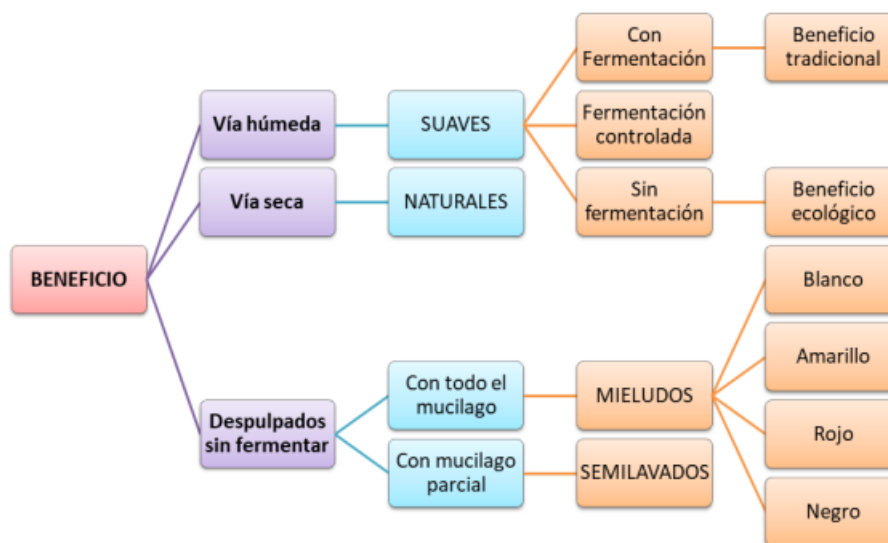
El Bourbon es una planta de café, esta variedad tiene la capacidad de ramificar troncos hasta 4 a 5 m de altura, la altura también dependerá de la zona de la cosecha, el clima para el café en su mayoría de especies tiene que tener un calor abundante o tiene que ser un lugar donde no haga frío, una de las características que tienen las ramas del café es que las puntas son de color bronce, la figura que forma las ramas es redonda, el color es variado dependiendo de lugar puede ser rojo, naranja café hasta rosado (Villacis, 2016).

## 2.5. BENEFICIOS DEL CAFÉ

En la Figura 2 se muestra los tipos de beneficio del café. El beneficio son todas las operaciones a las cuales es sometido el fruto del café para poder secarlo. Existen diferentes métodos.

**Figura 2**

*Beneficio del café por varios métodos*



Fuente: (Educafés, 2014)

- **Vía húmeda**

### **Con fermentación**

**Beneficio tradicional:** Este método implica la fermentación natural de los granos de café en tanques de agua para eliminar la pulpa antes del lavado y secado (Educafés, 2014).

**Fermentación controlada:** Similar al beneficio tradicional, pero la fermentación se controla estrictamente en términos de tiempo y condiciones para obtener perfiles de sabor específicos (Educafés, 2014).



### **Sin fermentación**

**Beneficio Ecológico:** Los granos se procesan sin fermentación, utilizando métodos que minimizan el uso de agua y reducen el impacto ambiental (Educafés, 2014).

- **Vía seca**

**Naturales:** Los granos de café se secan con toda la pulpa aún adherida, lo que da como resultado un perfil de sabor más complejo y afrutado (Educafés, 2014).

- **Despulpados sin fermentar**

### **Mieludos**

**Con Todo el Mucílago:** Después del despulpado, el mucílago se deja adherido al grano y los granos se secan con él, dando un sabor dulce y cuerpo al café (Educafés, 2014).

**Con Mucílago Parcial:** Una parte del mucílago se retira antes del secado, lo que equilibra la dulzura y la acidez (Educafés, 2014).

- **Semilavados**

Los granos se despulpan y se lavan parcialmente para remover parte del mucílago antes del secado (Educafés, 2014).

## **2.6. TOSTADO DE CAFÉ**

El tostado es el proceso que se produce cuando se aplica calor al café verde, provocando la transformación de los almidones en azúcares o la caramelización por



deshidratación (Estrella, 2015). Los granos duplican su tamaño mientras se tuestan. Los granos verdes se vuelven amarillos al principio y luego marrón canela cuando se aplica el calor, momento en el que se secan. Los aceites de los granos de café se liberan cuando la temperatura interior alcanza unos 200 °C; en general, cuanto mayor es el contenido de aceite, más fuerte es el sabor. Los granos se parten al tostarse, algo así como palomitas de maíz que revientan al calentarse bajo calor (Calle, 2011).

El nivel de tueste variará en función del tipo de café que se procese, según (Valerio et al., 2016). Sin embargo, el sistema recomienda los grados "ligero" y "ligero-medio", que equivalen aproximadamente a los grados 55 a 65 de la escala Agtron para granos tostados. La densidad del café que se tueste determinará la duración precisa dentro de este intervalo. Debe enfriarse lo antes posible después del tueste, sin necesidad de agua. Las muestras deben conservarse en un lugar con poca humedad, seco y oscuro si se van a catar al día siguiente del tueste (Salazar, 2022).

Se trata de un procedimiento que depende de la temperatura y el tiempo y que es esencial para el desarrollo del sabor y la fragancia de la bebida. Las zonas térmicas entre 200 y 250 °C hacen que los granos de café verde experimenten cambios químicos significativos, así como alteraciones estructurales. Además del cambio de color de verde a marrón, se producen varios cambios físicos y químicos. La etapa inicial del tostado implica la pérdida de agua libre, mientras que en la segunda se producen reacciones químicas complejas como la deshidratación, la fragmentación, la recombinación y la polimerización. Numerosas de estas alteraciones están relacionadas con el proceso de Maillard y dan lugar a la síntesis de moléculas gustativas, aromáticas y de bajo peso molecular, como el dióxido de carbono y el agua libre. Además, se producen melanoidinas, compuestos coloreados de alto peso molecular que son solubles y parcialmente insolubles en agua (Rojas, 2005).



El tostado desencadena una serie de reacciones químicas, como la descomposición de algunos ácidos, la generación de azúcar y la conversión de almidón en azúcar. Los aceites de café, también conocidos como cafeol, son aceites aromáticos volátiles que se generan en el tueste y contienen sabores y fragancias que también son solubles en agua. Como resultado, una vez preparada la bebida, estos sabores y aromas se conservan; sin embargo, después del tostado, el sabor que ha surgido como resultado de esta operación comienza a desvanecerse (Cámara Peruana del Café, 2004).

Wang & Lim, (2015) detalla que en la torrefacción el grano de café hay un ingreso de transferencia de calor externo e interno produciendo así múltiples cambios físico y químicos en el interior del grano (incremento de  $T^{\circ}$ , evaporación de agua, incremento de volumen, etc.). Provocando una pérdida o liberación de agua, dióxido de carbono y compuestos volátiles a lo largo del proceso de tostado, ya que el tiempo y la temperatura varían.

### **2.5.1. Fases de tostado**

Durante el proceso de tostado suceden varios procesos químicos que sucederán en las siguientes fases de tostado (Otsogile et al., 2022):

- **Deshidratación o secado**

Durante esta etapa el café empieza a liberar la humedad contenida y no comenzará su cambio de color hasta que no libere el agua. Durante los dos primeros min del tueste el café casi no cambia ni de aspecto ni de tamaño (Chancos, 2023).

- **Reacción de Maillard**



Es una reacción entre azúcares y aminoácidos que son los responsables de darle ese característico sabor y color marrón gracias a los azúcares caramelizados (Chancos, 2023).

- **Primer crack**

Una vez que la reacción de caramelización gana rapidez, se da una acumulación de CO<sub>2</sub> y vapor de agua dentro del grano, y cuando la presión es demasiada este hace una pequeña explosión que se le llama crack por su sonido y además el grano llega a casi duplicar su tamaño. A partir de aquí el tostador puede detener el proceso de tostado según el objetivo (Henaó, 2016).

- **Desarrollo del grano**

A partir de este momento, el ritmo de tueste y el grado de desarrollo determinarán el perfil del café, por lo que es muy importante considerar el tiempo y la temperatura, ya que en ese momento las reacciones químicas se producen con mucha rapidez. Cuanto más corto sea el tiempo del desarrollo, mayor dulzor y acidez; por el contrario, a mayor tiempo, los azúcares se caramelizan dando lugar a una mayor amargor y cuerpo (Aldave, 2019).

- **Acabado y enfriamiento**

Las células del grano se endurecen o solidifican, lo que resulta en el cierre de sus poros. Esto atrapa en su interior los aromas y sabores característicos del café (Aldave, 2019).

## **2.7. ALTITUD EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ**

La altitud en el cultivo de café se refiere a la altura sobre el nivel del mar a la que se cultivan los cafetos. La altitud influye en las condiciones climáticas, como la





temperatura y la exposición solar, que afectan el desarrollo de los granos de café y, por ende, sus características sensoriales. Los cafés cultivados a mayores altitudes suelen tener perfiles de sabor más complejos, con una mayor acidez y notas más florales y frutales" (Partelli, et al., 2022).

La altitud tiene una influencia significativa en la calidad sensorial del café. A medida que aumenta la altitud, las condiciones ambientales como las temperaturas más frescas y la menor exposición directa al sol resultan en un desarrollo más lento de los granos de café. Este proceso de maduración extendido permite una acumulación gradual de azúcares y compuestos de sabor, lo que contribuye a una mayor complejidad y profundidad en el perfil de sabor del café. Los cafés cultivados a mayores altitudes suelen presentar una acidez más brillante y sabores más complejos, incluyendo notas de frutas, caramelos y flores (Morning Coffee Journal, 2023).

Un clima adecuado para el café depende de la latitud y la altura sobre el nivel del mar, ya que por cada 100 m de altitud la temperatura disminuye  $0.6^{\circ}\text{C}$  y se ha documentado ampliamente que la altitud tiene influencia importante en las características del café. La altitud es un factor determinante en la calidad, ya que, a mayor altitud, incrementa la densidad y dureza de los granos, así como el grado de acidez, aroma, sabor, fineza y cuerpo por lo que los granos y la bebida son más apreciados. En altitudes menores, con temperaturas y humedad más elevadas, la maduración es más rápida, lo que ocasiona efectos negativos en el sabor y en las características físicas del grano (Escamilla, 2007).

## **2.8. TEMPERATURA Y TIEMPO DE TOSTADO**

La temperatura y el tiempo de tostado son fundamentales para definir el perfil de sabor del café. Generalmente, el tostado se lleva a cabo a temperaturas entre  $180^{\circ}\text{C}$  y



250 °C, y el tiempo de tostado puede variar desde unos 8 min hasta 20 min, dependiendo del nivel deseado de tostado (Thurston y Morris, 2013). A temperaturas más altas y tiempos prolongados, el café tiende a adquirir sabores más oscuros y amargos, mientras que temperaturas más bajas y tiempos más cortos pueden mantener características más ácidas y florales en el café (Hoffmann, 2014). Estos parámetros son esenciales para lograr el equilibrio deseado entre acidez, dulzura y cuerpo en la taza (Thurston y Morris, 2013; Hoffmann, 2014).

## **2.9. TIPOS DE TOSTADO DE CAFÉ**

### **2.9.1. Tostado claro**

Se crea después de la fase inicial, una vez seca la superficie, y es algo más que un tostado ligero. Tiene una fuerte acidez y un cuerpo sustancioso. El aroma y la riqueza del café se ven realzados por el tueste más suave. La temperatura de tostado es de 180 - 220 °C con 45 s hasta 90 s de tiempo de desarrollo (Chancos, 2023; Educafés, 2014).

### **2.9.2. Tostado medio**

También se conoce como tueste medio, tueste rápido y tueste americano, este tipo de tostado es muy apreciado tanto por los tostadores como por los catadores, ya que resaltan las cualidades únicas del grano, así como su lugar de origen. Los granos parecen más secos durante este proceso y tienen un sabor dulce, un cuerpo definido y una agradable acidez. Para este tueste medio, se recomienda un tiempo y temperatura de 180 °C a 210 °C con 90 s hasta 150 s de tiempo de desarrollo (Chancos, 2023; Educafés, 2014).

### 2.9.3. Tostado oscuro

Este tipo de tostado se conoce como italiano o continental. Durante el proceso de tostado, que dura entre 150 s y 360 s de tiempo de desarrollo, los granos chisporrotean y crujen por segunda vez. En esta etapa, comienzan a liberar aceite, adquieren un brillo característico y desarrollan un cuerpo más pronunciado. Sin embargo, también se pierde aceite durante este proceso. Es importante destacar que el café tostado de esta manera puede tener un sabor y aroma amargos (Chancos, 2023; Educafés, 2014).

En la Figura 3 se presenta una clasificación general del grado de tostado de 3 tipos. Esta Figura es crucial para comprender visualmente las características y diferencias entre cada tipo de tueste, proporcionando una guía clara sobre cómo estos afectan el perfil de sabor y aroma del café finalmente preparado (Chancos, 2023).

#### Figura 3

*Clasificación del grado de tueste de forma general en 3 tipos.*



Fuente: (Chancos, 2023)

## 2.10. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis o la evaluación sensorial es una disciplina científica empleada para medir, analizar, describir e interpretar las características de los cafés, que se perciben por los sentidos como el oído, tacto, gusto, olfato y vista (Salazar, 2022). Existen distintos tipos de análisis sensorial los cuales se describen a continuación:

- **Análisis descriptivo**

Consiste de 1 a 2 sesiones utilizando el protocolo SCA (Salazar, 2022)..

- **Análisis discriminativo**

Proceso de tiempo rápido que no necesita un gran entrenamiento (Salazar, 2022)..

- **Test del consumidor**

No demanda entrenamiento, ya que es espontáneo (Salazar, 2022)..

### 2.10.1. Propiedades sensoriales

Los rasgos de los alimentos que son reconocidos por los sentidos se conocen como propiedades sensoriales. Algunos rasgos sólo pueden detectarse por un sentido, mientras que otros son percibidos por dos o más sentidos. Para la evaluación sensorial del café solo se necesita 2 sentidos: el olfato y el gusto. El sistema sensitivo del ser humano es una gran herramienta para el control de calidad de los productos de distintas industrias (Salazar, 2022).

- **Olfato**

Encargado de informar sobre el aire que respiramos y sobre los alimentos y bebidas que se consume, además que en un momento selecciona lo agradable y desagradable (Salazar, 2022).



- **Gusto**

Presenta 4 sabores básicos, como regla general la lengua, puede percibir los 4 sabores de dulce, ácido, amargo y salado (Salazar, 2022).

### **2.10.2. Rueda de sabores del catador de café**

Método de evaluación y caracterización de los cafés, el sabor se describe como una mezcla de aroma y gusto que combina elementos de los gustos principales. Los descriptores de sabor más generales se encuentran próximo al centro y se vuelven más específicos hacia el exterior, el léxico explica claramente y proporciona descripciones técnicas y químicas de los sabores y referencias sensoriales para sus atributos (Chancos, 2023).

### **2.10.3. Catación del café**

La catación es la prueba organoléptica o sensorial reconocida mundialmente para la comercialización del café. Esta prueba de evaluación la realiza un especialista conocido como catador, que cuenta con la formación, la experiencia y las habilidades naturales necesarias para poder detectar cualquier defecto o cualidad del café (Vilca, 2014). En función de las necesidades del cliente, las cualidades y defectos del grano pueden separarse en categorías tanto para la bebida como para su aspecto físico. En última instancia, la noción global de calidad viene determinada por la existencia y el grado de los defectos físicos y en taza. De este modo, la cata evalúa el valor real y la comerciabilidad del café (Estrella, 2015).



- **Fragancia**

Es la intensidad que provocan los compuestos aromáticos del café cuando son percibidos por el sentido del olfato, sin la adición de agua (Osorio, 2022).

- **Aroma de la bebida**

Es la fuerza de los aceites volátiles tal y como se detectan en la infusión (la bebida recién hecha). Entre más intensa sea la característica, será mayor la calificación, siempre y cuando corresponda a un café sin algún defecto (el producto no debe tener ningún aroma extraño) (Osorio, 2022).

- **Sabor**

Representa la característica principal del café, impresión combinada de todas las sensaciones gustativas y aromas retronasales (Osorio, 2022).

- **Sabor residual**

Se define como la cantidad de tiempo que transcurre entre la inhalación o el consumo del café y la percepción de los sabores y aromas agradables que provienen de la parte posterior del paladar. Se dará una puntuación más baja si el regusto es corto o áspero puntuación reducida (Osorio, 2022).

- **Acidez**

Se deriva de los componentes ácidos del café, que se encuentran en la bebida. Se siente en las superficies laterales de la lengua, y cuando las cosas van bien, se caracteriza frecuentemente como "brillante" o "agrio" cuando no es ventajoso (Osorio, 2022).

- **Cuerpo**



Describe el sabor y la potencia de la bebida, así como su consistencia, sensación de plenitud y sensación en boca. La plenitud y la pesadez son indicadores del sabor y la potencia de la bebida. La calidad de la bebida aumentará con el incremento del atributo (Salazar, 2022).

- **Balance**

Muestra las interacciones y las formas en que los diferentes sabores, el regusto, el sabor residual, la acidez y las características del cuerpo contrastan o se complementan entre sí. La puntuación de equilibrio sería más baja si la muestra careciera de rasgos particulares de fragancia o sabor o si algunos aspectos fueran dominantes (Salazar, 2022).

- **Otros atributos**

Una definición más precisa del perfil sensorial del café puede hacerse utilizando las percepciones de sabores u olores presentes en la taza (floral, frutal, herbal, almendra y chocolate). Estas cualidades pueden definir un café y se detallan en los comentarios. describen cómo es un café. Los cafés especiales tienen características que el café normal no tiene (Osorio, 2022).

- **Impresión global**

Cuando el juez agrega o resume la evaluación del catador sobre la bebida, ofrece una nota. Sirve como símbolo de la calidad de la bebida. La calidad de la bebida aumentará con el nivel de calificación. Los cafés especiales deben puntuar entre 80 y 100 (Salazar, 2022).

- **Color**

Para el análisis del color del café se examina la apariencia en general de la muestra y su uniformidad. Se describe el color como marrón, amarillento, blancuzco, verdoso o azulado, los colores serán dependientes al origen o a la edad del café. Conforme a una carta de colores de la Figura 4 (Osorio, 2022).

#### **Figura 4**

##### *Color de café verde*



Fuente: (Chancos, 2023)

## **2.11. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS**

### **2.11.1. Acidez**

La acidez es una excelente forma de medir la calidad de los granos de café; puede variar en función del grado de fermentación y de la fase de maduración de los granos. También puede aumentar a medida que los granos envejecen (Pereira, 2008). Según X. Wang & Lim, (2015) la concentración de iones de hidrógeno (pH), que está relacionada con el grado de ionización o disociación de un ácido o una combinación de ácidos presentes en los granos de café, afecta directamente al sabor y la fragancia de la bebida.





### **2.11.2. Brix**

Uno de los elementos más valorados en la evaluación de la calidad del café en la actualidad, se describe como la cantidad de sólidos solubles en el café y está influenciado por la temperatura, la presión, la duración del contacto café-agua y el grado de molienda, sólidos solubles en la bebida, que tienen un impacto en los atributos sensoriales, incluyendo el sabor (Medina et al., 2006).

### **2.11.3. Color**

El tostado del grano de café es categorizado por Castillo et al. (2016) utilizando escalas que inciden en cambios físico-químicos significativos, como pérdida de peso, aumento de volumen y variación de color en función de la temperatura y el tiempo. Esto permite diferenciar cada tipo de tueste en función de la escala Agtron: Tostado oscuro de 45 a 25, medio de 65 a 55, y ligero de 95 a 75 (Halal, 2008).



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

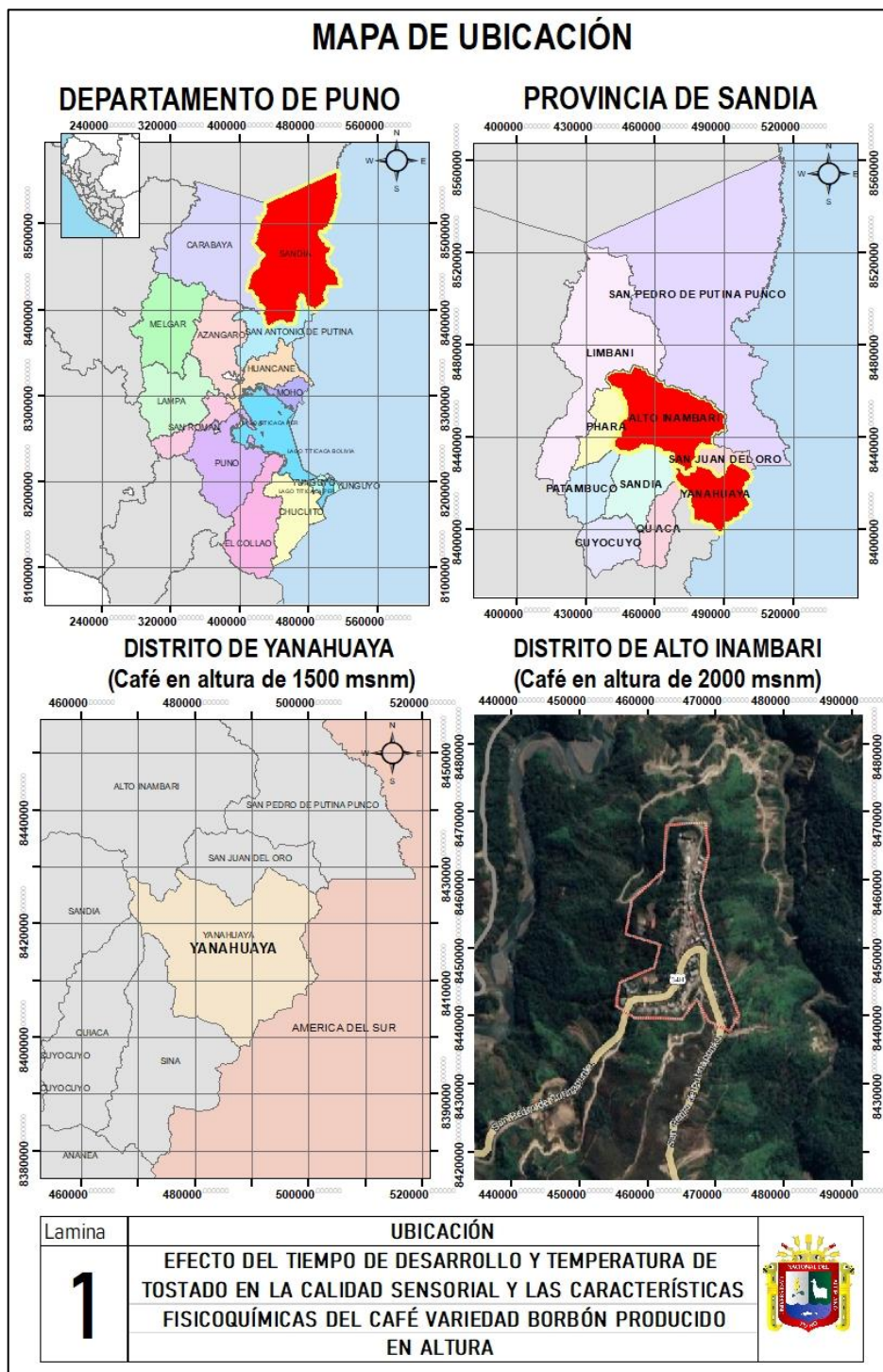
#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se realizó en la región de Puno, las pruebas experimentales de análisis sensorial se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la Central de Cooperativas Agrarias Cafetaleras de los Valles de Sandía (latitud sur  $15^{\circ} 31' 16$ , longitud oeste  $70^{\circ} 7' 13''$  y 3824 msnm). El análisis químico y físico se realizó en el laboratorio de postcosecha de la Escuela Profesional Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano Puno (latitud sur  $15^{\circ}49'23''$ , longitud oeste  $70^{\circ}01'07''$  y 3835 msnm).

En la Figura 5 se presenta una vista satelital, donde se observa la ubicación de los dos distritos de donde se obtuvieron las muestras de café en la Provincia de Sandía, Departamento de Puno. El Distrito de Yanahuaya, ubicado a 1500 msnm en las coordenadas  $14^{\circ}15'24''S$   $69^{\circ}10'23''O$ , está indicado en el mapa inferior izquierdo. Por otro lado, el Distrito de Alto Inambari, situado a 2000 msnm con coordenadas  $14^{\circ}9'38.4''S$   $69^{\circ}17'14.2''W$ , se muestra en el mapa inferior derecho.

**Figura 5**

*Localización del proyecto*



### 3.2. MATERIA PRIMA

Las muestras de cafés de la variedad Bourbon cultivados a 1500 msnm, fue producido en el distrito de Yanahuaya y acopiado en los almacenes de la Cooperativa



Agraria Cafetalera San Isidro Ltda. De igual manera, el café a una altura de 2000 msnm fue producido en el del Centro Poblado de Quiquira, distrito de Alto Inambari, y fue acopiado en la Cooperativa Agraria Cafetalera Tupac Amaru Ltda.

### **3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**

#### **Equipos**

- Tostadora de muestra, marca PROBAT de 2 tambores horizontal, capacidad 400 g, origen alemán.
- Molino, marca MAHLKONING, EK43, capacidad 200 g – origen chino.
- Trilladora, marca IMSA, capacidad de 200 g, origen peruano
- Medidor de humedad de granos digital, marca GEHAKA, G600, capacidad 10 g, origen peruano
- Balanza de precisión de 0.01 g, marca CAMRY, EHA701, capacidad 300 g, origen peruano

#### **Materiales**

- Agua de Mesa para catación marca cielo.
- Tamiz de tela fina.
- Probeta de 500 ml, marca PYREX
- Bandejas para café verde, marca CECOVASA.
- Micropipetas 1 y 5 ml, marca BRAND.
- Manual de defectos SCAA 2011.
- Zaranda seleccionadora n° 16 para café verde de marca IMSA.
- Cronometro KENKO
- Tableros para ficha SCA.
- Escupideras de acero inoxidable



- Tazas de catación de 200 ml de marca corona de acero inoxidable.
- Cucharas de 10 ml de acero inoxidable

#### **Reactivos**

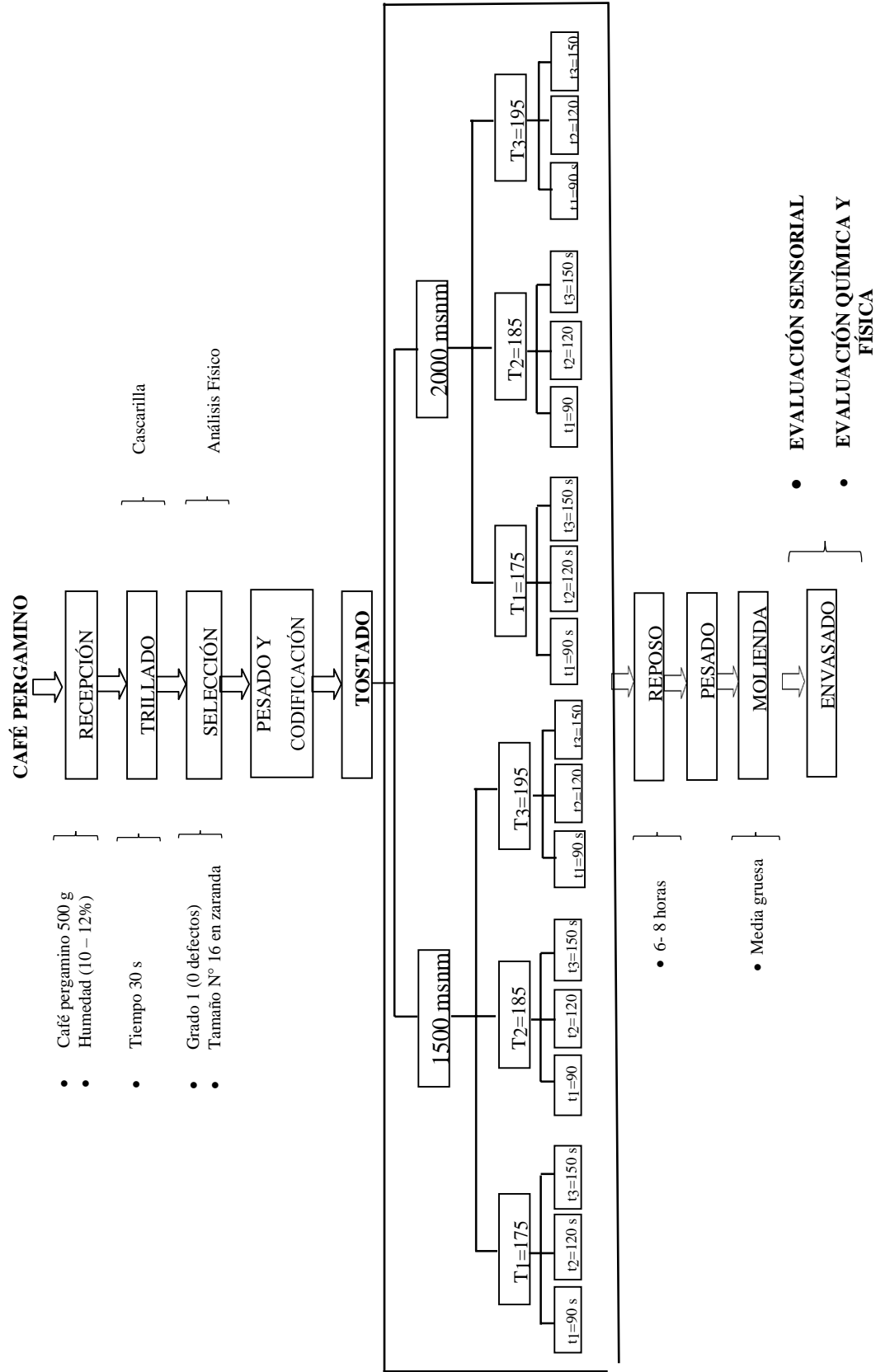
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N, marca MERCK KGaA, densidad: 1.35 g/cm<sup>3</sup>, pH: 14, hidrosolubilidad: miscible en cualquier proporción
- Fenolftaleína, marca SIGMA, solución indicadora al 1% en alcohol de 96°, masa molar: 318,3 g/mol y densidad: 1.3 g/cm<sup>3</sup>
- Agua destilada, marca ALKOFARMA con densidad: 0,997 - 1,002 g/ml. Índice de refracción: aprox. 1,3330. pH: 5,0 - 7,0. Conductividad: < 4,3 μS/cm.

### **3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

Una vez obtenido las muestras de cafés, se efectuaron los procesos establecidos en el diagrama de flujo de la Figura 6.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo del procedimiento experimental en la investigación*





- **Recepción:** Las muestras de café pergamino se recibieron en bolsas herméticas de 500 g, y cada muestra se separó en una bandeja con su código correspondiente, evaluando la humedad de cada una 10 – 12%. A continuación, se extrajo una muestra representativa de 200 g, sirviendo la muestra restante como contramuestra con su respectiva codificación.
- **Trillado:** Se utilizó 200 g de café pergamino el cual pasó por una maquina trilladora con el fin eliminar la cascarilla o pergamino por 30 s para obtener el café oro verde y evaluando el color y olor. Se consideró adecuado como color el verde azulado y olor a pasto.
- **Selección:** Se llevó a cabo una evaluación física de los granos de café trillados para detectar posibles defectos, como granos partidos, dañados o con moho, de acuerdo al manual de defectos SCAA, 2010. Este análisis ayudó a determinar la calidad física del café y su idoneidad para la catación. Para crear una muestra libre de defectos para el análisis de la calidad sensorial, se eliminaron todos los defectos de los grados 1 y 2 (máximo 12 defectos por 300 g y 24 defectos por 300 g).  
Café tipo exportación : Máximo 0 defectos por 300 g
- **Pesado y codificación:** Se pesaron meticulosamente 120 g de granos de café seleccionados para la catación, seguidos por la asignación de un código único que identifica cada muestra. Este proceso garantizó la trazabilidad de las muestras, permitiendo un registro detallado y preciso de todos los aspectos relacionados con la catación.
- **Tostado:** Para llevar a cabo el proceso de tostado, se utilizó un tostador de laboratorio PROBAT con dos tambores, un ciclón de tostado y un ventilador de refrigeración independiente. Durante todo el procedimiento, esta disposición permitió eliminar el humo de las cáscaras de forma rápida y eficaz. Cada tambor



tenía un quemador debajo de la cámara de tostado con una capacidad máxima de 120 g.

- **Reposo:** Luego del tostado, las muestras de café se dejaron reposar durante un tiempo de 6 a 8 hr que permitió que los sabores se estabilicen y se desarrollen completamente.
- **Pesado:** Se hizo un pesado de 100 gr de café tostado para luego colocarlo en una bandeja con su respectivo código.
- **Molienda:** El café tostado se sometió a una molienda, con un tamaño de partícula aproximado de 1500 micrones( $\mu\text{m}$ ).
- **Envasado:** se envaso en bolsas ziploc de polietileno de baja densidad y se realizó la evaluación sensorial, química y física.

### 3.5. FACTORES EN ESTUDIO

#### 3.5.1. Para el primer objetivo

- Determinar el efecto del tiempo de desarrollo (90, 120, 150 s) y temperatura (175, 185, 195 °C) de tostado en la calidad sensorial del café variedad Bourbon producido en alturas de 1500 y 2000 msnm.

##### **Factor de estudio:**

- Tiempo de desarrollo (90, 120 y 150 seg)
- Temperatura (175, 185 y 195 °C)
- Altitud (1500 y 2000 msnm)

#### 3.5.2. Para el segundo objetivo

- Determinar el efecto del tiempo de desarrollo (90, 120, 150 s) y temperatura (175, 185, 195 °C) de tostado en las características química y física del café variedad Bourbon producido en alturas de 1500 y 2000 msnm.





**Factor de estudio:**

- Tiempo de desarrollo (90, 120 y 150 s)
- Temperatura (175, 185 y 195° C)
- Altitud (1500 y 2000 msnm)

**3.6. VARIABLES DE RESPUESTA**

**3.6.1. Para el primero objetivo**

- Fragancia/Aroma
- Sabor
- Sabor residual
- Acidez
- Cuerpo
- Uniformidad
- Balance
- Taza limpia
- Dulzor
- Puntaje del catador

**3.6.2. Para el segundo objetivo**

- Sólidos solubles
- pH
- Acidez titulable
- Color



### **3.7. MÉTODO DE ANÁLISIS**

#### **3.7.1. Determinación del efecto del tiempo de desarrollo (90, 120, 150 s) y temperatura (175, 185, 195°C) de tostado en la calidad sensorial del café variedad Bourbon producido en alturas entre 1500 y 2000 msnm.**

Las muestras de café tostado se sometieron a evaluación sensorial con 3 Catadores Expertos Certificados por el Coffee Quality Institute, entidad licenciada por la SCA. Para la evaluación sensorial en todos los atributos se empleó la ficha SCA del Anexo 2, para cada atributo se tuvo una escala de clasificación de 0.25 a 10 puntos.

##### **3.7.1.1. Evaluación sensorial**

Se utilizó la metodología SCA para los atributos sensoriales de acuerdo al método descrito por (Chávez Rafael & Ordoñez Gómez, 2021; Dávila, 2018)

La catación de café se realizó un tiempo de 35 min bajo la supervisión de un catador certificado, preferentemente en las primeras horas del día para una mejor apreciación. No se cataron más de 5 muestras por sesión ni más de 30 al día para evitar saturación y errores. El objetivo fue evaluar características, atributos, defectos y contaminaciones del café, registrando 10 atributos: Fragancia/Aroma, Sabor, Sabor residual, Acidez, Cuerpo, Balance, Uniformidad, Taza limpia, Dulzor y Puntaje catador. La evaluación sensorial incluyó la inspección visual del color del tostado y la calificación de los atributos en función de los cambios de sabor al enfriarse el café.



### **a) Fragancia/ Aroma**

Se utilizó la metodología SCA para los atributos sensoriales de acuerdo al método descrito (Protocolo SCA, 2015; Vilca, 2014).

Esta evaluación comprendió de dos etapas que fueron la seca y mojada. En la evaluación seca para fragancia se levantó la tapa del envase y se procedió oler la muestra. Para la evaluación mojada, después de aplicar el agua, se dejó la espuma intacta durante al menos 3 min, pero no más de 5 min. Luego, se rompió la espuma removiéndola 3 veces y permitiendo que pase por la parte trasera de la cuchara de catación, mientras se olía suavemente.

### **b) Sabor, Sabor residual**

Se utilizó la metodología SCA para los atributos sensoriales de acuerdo al método descrito por (Protocolo SCA, 2015; Vilca, 2014).

La bebida se aspiró en la boca de manera que cubriera la mayor área posible, especialmente la lengua y el paladar superior. Los vapores retronasales alcanzaron su máxima intensidad a estas temperaturas de 140 °F a 160 °F, por lo que el sabor y el sabor residual se valoraron en este punto.

### **c) Acidez**

Se utilizó la metodología SCA de acuerdo al método descrito por (Chávez Rafael & Ordoñez Gómez, 2021).



Se evaluó brillantez y vivacidad del sabor del café mientras se enfriaba las muestras. Durante la cata, se prestó especial atención a las sensaciones ácidas en la lengua y el paladar. Se identificaron las notas cítricas, afrutadas o vinícolas, y se determinó la calidad y la intensidad de la acidez. Esta evaluación se realizó cuando el café alcanzó temperaturas entre 140 °F y 160 °F, permitiendo una percepción clara y precisa de este atributo.

#### **d) Cuerpo**

Se utilizó la metodología SCA de acuerdo al método descrito por Lucy et al., (2015).

Se evaluó al percibir la sensación táctil y la textura del café en la boca. Se prestó atención a la densidad y la viscosidad del líquido al pasar por la lengua y el paladar. Se determinó la intensidad alto, medio o bajo, observando cómo el café cubría y se mantenía en la boca. Esta evaluación se realizó a temperaturas aproximada de 140 °F y 160 °F, para asegurar una percepción detallada y precisa de este atributo.

#### **e) Balance**

Se utilizó la metodología SCA de acuerdo al método descrito por Lucy et al., (2015).

El atributo de Balance del café se evaluó considerando la armonía e integración de varios componentes del sabor, incluyendo Sabor, Sabor Residual, Acidez y Cuerpo. Se analizó cómo estos elementos interactuaban y se complementaban entre sí, buscando una combinación agradable y



equilibrada. El catador determinó el Balance al degustar el café en diferentes momentos de su enfriamiento.

**f) Dulzor, Uniformidad, y Taza limpia**

Se utilizó la metodología SCA de acuerdo al método descrito por Lucy et al., (2015).

Cuando la muestra se aproximaba a la temperatura ambiente (entre 80 °F y 70 °F), se evaluaron los atributos de Dulzor, Uniformidad y Taza Limpia. Para estos atributos, cada taza individual fue evaluada por el catador, asignando hasta 2 puntos por atributo (con una cuenta máxima de 10 puntos en total).

**g) Puntaje del catador**

En este punto el catador le da un puntaje del aspecto general teniendo en cuenta la evaluación de los anteriores atributos (Protocolo SCA, 2015).

**3.7.2. Determinación del efecto del tiempo de desarrollo (60, 90, 120 s) y temperatura (175, 185, 195°C) de tostado en las características química y física del café variedad Bourbon producido en alturas entre 1500 y 2000 msnm**

Para el análisis químico y físico se siguieron los siguientes métodos.



### 3.7.2.1. Características químicas y físicas

#### a) Sólidos solubles

Se realizó de acuerdo a los procedimientos descritos por Lucy et al (2015).

Se evaluó el grado de sólidos solubles, después de haber extraído el café, en relación de 1:14 (30 g de café: 420 ml de agua); los resultados fueron dados en °Brix, que según la literatura el índice de sólidos solubles en el café debe ser de 1.15% - 1.35%

#### b) pH

Se realizó de acuerdo a los procedimientos descritos por X. Wang & Lim, (2015).

Empleando un potenciómetro digital para medir la concentración de iones de hidrógeno, se determinó el pH. Para lo que se colocó 10 ml del café líquido en un frasco.

#### c) Color

Se realizó de acuerdo a los procedimientos descritos por FÓRUMCAFÉ (2018).

Para clasificar el grado de color de tueste, se utilizó la escala de medición del color Agron, que consiste en un paquete de ocho discos de color con graduaciones que van del N° 25 al N° 95.

#### d) Acidez

Se realizó de acuerdo a los procedimientos descritos por Lucy et al (2015).

Se preparó una infusión con 3 gr de café molido y 54.54 ml de agua para la extracción. Se filtró esta infusión y se tomó 3 ml para luego mezclar con 30 ml de agua destilada para lograr una dilución de 1:10; titulándolo con una solución de hidróxido de sodio valorada (NaOH 0,1N) y 3 gotas de fenolftaleína como indicador; se tomó el gasto del volumen del hidróxido de sodio requerido para la neutralización se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Acidez (mg de ácido clorogénico/g)} = \frac{(\text{Factor de conversión})(\text{Normalidad de NaOH})(\text{ml utilizados de NaOH})}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

### 3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 3.8.1. Diseño estadístico

Para ambos objetivos se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 3A x 3B x 2C con tres repeticiones y Análisis de Varianza (ANOVA), para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey. El nivel de significancia utilizado fue de  $p < 0.05$ . Para el análisis de resultados se utilizó el software estadístico Rstudio versión 4.3.0.

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:



$i = 1, 2, 3$  (niveles del factor tiempo de desarrollo)

$j = 1, 2, 3$  (niveles del factor temperatura)

$k = 1, 2$ , (niveles del factor tiempo de altitud)

$r = 1, 2, 3$  (repeticiones)

$Y_{ijkl}$ : Respuesta en el  $i$ -ésimo nivel de A,  $j$ -ésimo de B,  $k$ -ésimo de C y  $r$ -ésima repetición

$\mu$ : Media general

$\alpha_i$ : Efecto del  $i$ -ésimo nivel de Tiempo de desarrollo

$\beta_j$ : Efecto del  $j$ -ésimo nivel de Temperatura

$\gamma_k$ : Efecto del  $k$ -ésimo nivel de Altura

$(\alpha\beta)_{ij}$ : Interacción Tiempo de desarrollo x Temperatura

$(\alpha\gamma)_{ik}$ : Interacción Tiempo de desarrollo x Altura

$(\beta\gamma)_{jk}$ : Interacción Temperatura x Altura

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ : Interacción Tiempo de desarrollo x Temperatura x Altura

$\varepsilon_{ijkl}$ : Error aleatorio

### 3.8.2. Distribución de tratamiento

Se distribuyó los tratamientos como se observa en la Tabla 1.





**Tabla 1**

*Distribuciones de los tratamientos de café variedad Bourbon para el experimento.*

CALIDAD SENSORIAL/ CARACTERÍSTICAS						
FISICOQUÍMICAS						
Tratamien to	Tiempo de desarrollo	Temperatu ra	Altitud	Repeticiones		
T1	a1	b1	c1	R1	R2	R3
T2	a2	b1	c1	R1	R2	R3
T3	a3	b1	c1	R1	R2	R3
T4	a1	b2	c1	R1	R2	R3
T5	a2	b2	c1	R1	R2	R3
T6	a3	b2	c1	R1	R2	R3
T7	a1	b3	c1	R1	R2	R3
T8	a2	b3	c1	R1	R2	R3
T9	a3	b3	c1	R1	R2	R3
T10	a1	b1	c2	R1	R2	R3
T11	a2	b1	c2	R1	R2	R3
T12	a3	b1	c2	R1	R2	R3
T13	a1	b2	c2	R1	R2	R3
T14	a2	b2	c2	R1	R2	R3
T15	a3	b2	c2	R1	R2	R3
T16	a1	b3	c2	R1	R2	R3
T17	a2	b3	c2	R1	R2	R3
T18	a3	b3	c2	R1	R2	R3

Fuente: Elaboración propia.



Donde:

a1: Tiempo de desarrollo de 90 s

a2: Tiempo de desarrollo de 120 s

a3: Tiempo de desarrollo de 150 s

b1: Temperatura de 175 °C

b2: Temperatura de 185 °C

b3: Temperatura de 195 °C

c1: Altitud 1500 msnm

c2: Altitud 2000 msnm



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANALISIS SENSORIAL DEL CAFÉ VARIEDAD BOURBON

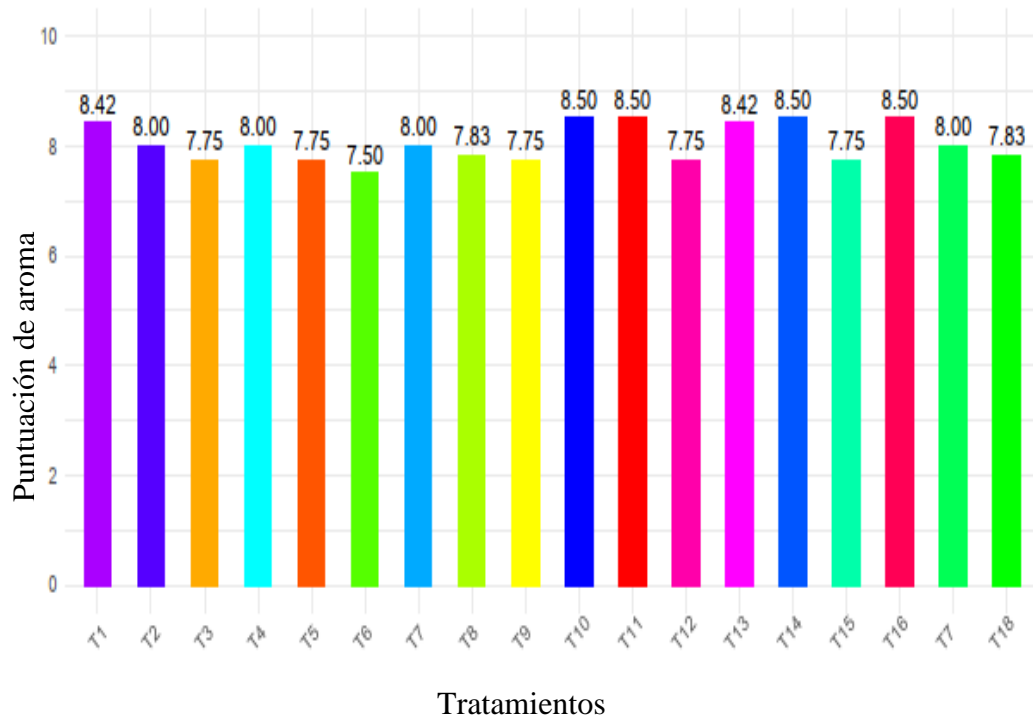
Los resultados de las puntuaciones del aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, uniformidad balance, taza limpia, dulzor y puntaje del catador del café variedad bourbon en los tratamientos estudiados fueron:

##### a) **Fragancia / Aroma:**

En la Figura 7, se presentan los promedios de las puntuaciones. Estas puntuaciones fueron considerablemente elevadas respecto al atributo fragancia / aroma, es decir que los catadores evaluaron positivamente la calidad sensorial de todas las condiciones experimentales estudiadas.

**Figura 7**

*Comparación de las puntuaciones del atributo Fragancia / Aroma, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*



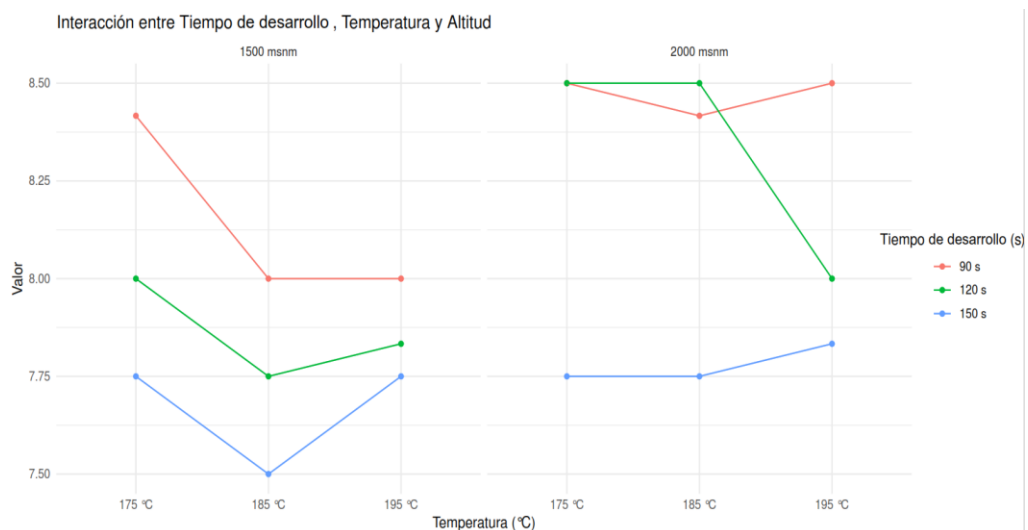
Según Rao (2014) manifiesta que la calificación de los atributos del café en la catación generalmente se realiza en una escala que va desde 6 hasta 10, donde 6 representa un atributo deficiente o de baja calidad, y 10 representa un atributo excelente o de la más alta calidad.

Por ende, esto es un hallazgo positivo dentro de esta investigación considerando que (Angeloni et al., 2021), manifiestan que el aroma del café es una característica decisiva para la calidad del producto y la aceptación del consumidor, así mismo, el aroma del café es fundamental para el gusto del consumidor y permite la diferenciación de precios del café (Caporaso et al., 2022).

En la Tabla 2 del Anexo 1, el ANOVA indica que los factores estudiados Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud tienen un efecto significativo en el atributo fragancia / aroma del café variedad Bourbon. Las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura, tiempo de desarrollo y altitud, y temperatura y altitud tienen efecto significativo, así como la interacción triple. Es decir, estos factores influyen significativamente en el atributo fragancia / aroma, alcanzando puntuaciones más altas a 2000 msnm en la mayoría de las condiciones. Un tiempo de desarrollo más corto, de 90 y 120 s, generalmente resulta en puntuaciones más altas, especialmente a temperaturas más bajas como 175 °C y 185 °C, esto sugiere que el atributo fragancia / aroma del café es afectado de manera compleja y dependiente de la combinación de estos tres factores como se muestra en la Figura 8.

### Figura 8

*Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo fragancia / aroma.*





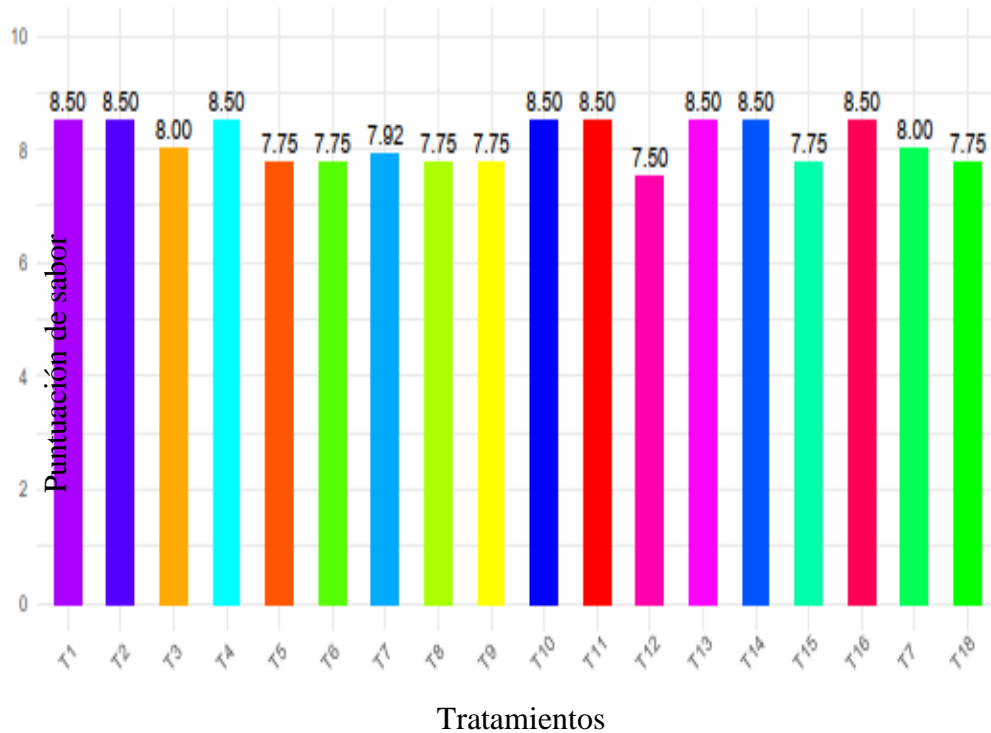
Luego del análisis de comparación múltiple de Tukey a un  $p < 0.05$  (Tabla 3 del Anexo 1), los tratamientos T11, T10, T14, T16, T1 y T13 obtuvieron las puntuaciones más altas de fragancia / aroma, agrupándose en A, lo que indica una excelente calidad sensorial en términos de fragancia / aroma. Estos tratamientos representan combinaciones óptimas de tiempo de desarrollo, temperatura y altitud que realzan las cualidades sensoriales deseadas. Por otro lado, los tratamientos con calificaciones más bajas se ubican en los grupos "C" y "D", los tratamientos del grupo C fueron: T3, T5, T9, T12 y T15, y del grupo D con el T6. Se distingue al grupo "D" como la condición de menor aceptación sensorial en el atributo fragancia / aroma. Estos hallazgos coinciden con el estudio realizado por Córdoba et al. (2021) donde se observó que los granos de café cultivados a mayores altitudes, que también implican un corto tiempo de desarrollo, presentaban una mayor calidad en el atributo fragancia / aroma en comparación con los de menor altitud y tiempo de desarrollo mayor. Además, según Vilca (2014) las temperaturas bajas de tostado, como 170 y 180 °C, pueden promover una reacción de compuestos en el café verde, lo que lleva a una formación de compuestos aromáticos durante el proceso de tostado. Esto puede resultar en cafés con perfiles de aroma más intensos y complejos.

#### **b) Sabor:**

En la Figura 9, se presentan los promedios de las puntuaciones. Estas puntuaciones son considerablemente elevadas con lo que respecta al sabor, indicando que los catadores evaluaron positivamente la calidad sensorial de todas las condiciones experimentales estudiadas.

**Figura 9**

*Comparación de las puntuaciones del atributo Sabor, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*

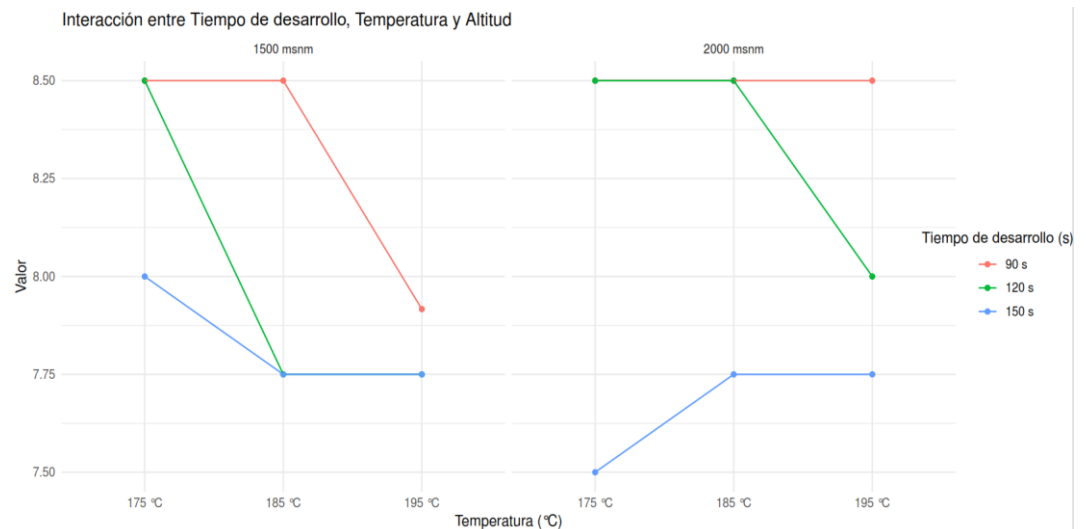


En la Tabla 4 del Anexo 1, el ANOVA indica que los factores estudiados Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud tienen un efecto significativo en el atributo sabor del café variedad Bourbon producido en altura. Las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura, tiempo de desarrollo y altitud, y temperatura y altitud tienen efecto significativo, así como la interacción triple, también afectan significativamente en el atributo sabor. En la Figura 10 indica que el café cultivado a 2000 msnm obtiene una mejor puntuación de sabor que el cultivado a 1500 msnm. Los tiempos de desarrollo de 90 s y las temperaturas 175 y 185 °C, tuvieron un mejor perfil de sabor en ambas altitudes. Esto sugiere que los tiempos de desarrollo más cortos y las temperaturas más bajas son óptimos

para obtener un mejor sabor del café, siendo 90 s a 175 y 185 °C en 1500 y 2000 msnm las condiciones ideales.

### Figura 10

*Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo sabor.*



Luego del análisis de comparación múltiple de Tukey en la Tabla 5 del Anexo 1, los tratamientos T2, T1, T4, T11, T10 y T14 obtuvieron las puntuaciones más altas de sabor, agrupándose en A, lo que indica una excelente calidad sensorial en términos de sabor. Estos tratamientos representan combinaciones óptimas de tiempo de desarrollo, temperatura y altitud que realzan las cualidades sensoriales deseadas. Por otro lado, los tratamientos T12 y T15, clasificados en el grupo D, mostraron puntuaciones más bajas de sabor, sugiriendo que esas combinaciones particulares pueden no ser ideales para obtener un buen sabor en el producto final. Rao (2014) indica que a temperaturas y tiempos de desarrollo bajos, los sabores alcanzan a tener un alto impacto en el café, por lo tanto, es





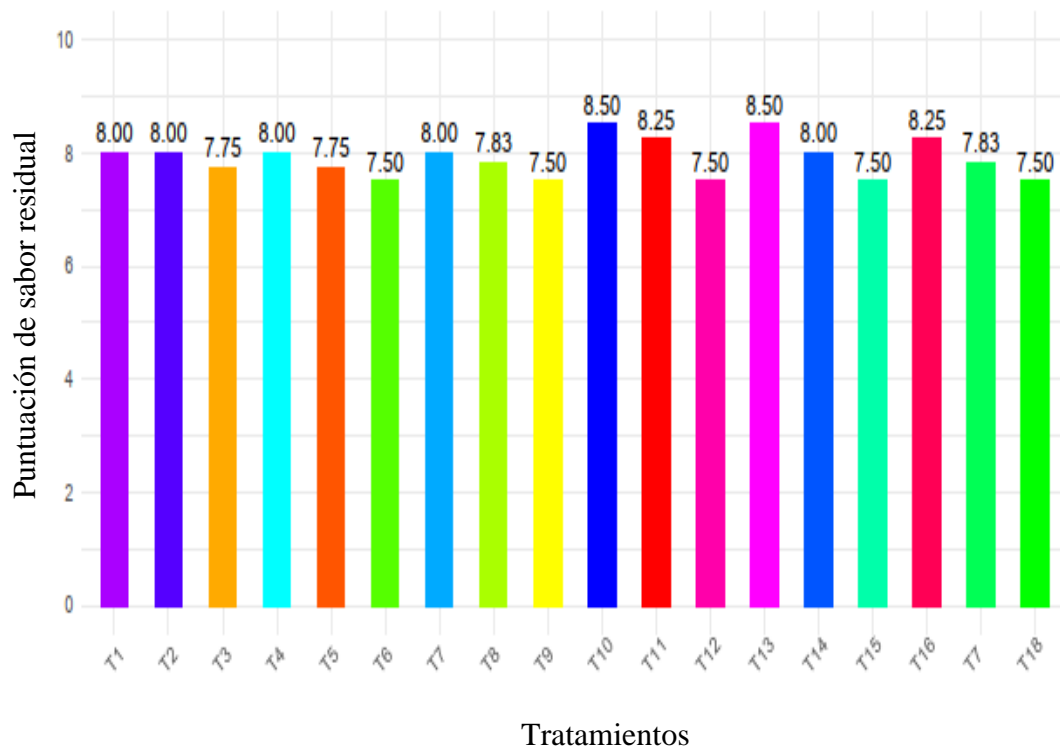
importante buscar el punto ideal para lograr un buen desarrollo del grano, Además Klein & Croijmans (2023) manifiesta que dentro de los atributos sensoriales más importantes se encuentra el sabor, pues este atributo puede afectar el comportamiento del consumidor. Gómez (2016) manifiesta que el sabor se desarrolla a través del tostado, y recomienda tener cuidado en este proceso, ya que puede generar compuestos no deseados. Según estudios realizados por Smith et al. (2018), los granos de café cultivados a mayores altitudes tienden a desarrollar perfiles de sabor más complejos y distintivos. Esto se debe a varios factores, incluidas las condiciones climáticas, la temperatura, la humedad y la calidad del suelo en altitudes más elevadas, que favorecen el crecimiento de los granos de café de mayor calidad.

### **c) Sabor residual**

En la Figura 11, se presentan los promedios de las puntuaciones. Estas puntuaciones son considerablemente elevadas con lo que respecta al sabor residual, indicando que los catadores evaluaron positivamente la calidad sensorial de todas las condiciones experimentales estudiadas.

**Figura 11**

*Comparación de las puntuaciones del atributo Sabor Residual, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*

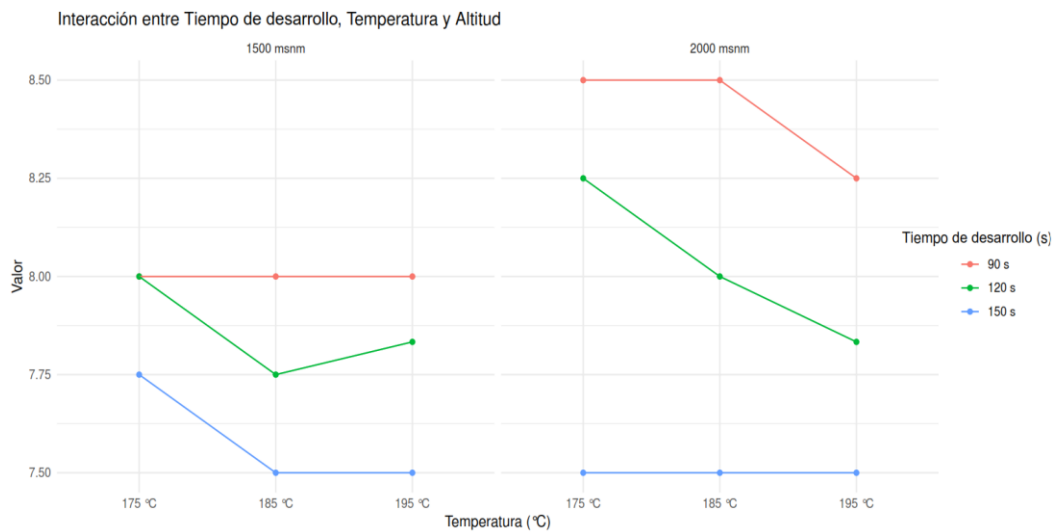


En la Tabla 6 del Anexo 1, el ANOVA indica que los factores estudiados Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud tienen un efecto significativo en el atributo sabor residual del café variedad Bourbon producido en altura. Las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura, tiempo de desarrollo y altitud, y temperatura y altitud tienen efecto significativo, así como la interacción triple, también afectan significativamente en el atributo sabor residual. En la Figura 12 se muestra que la mejor puntuación de sabor residual del café se obtiene a 2000 msnm con tiempos de desarrollo de 90 s y temperaturas de 175 °C. Esto sugiere que las puntuaciones de sabor residual son más altas a 2000 msnm que a

1500 msnm. Por otro lado, las puntuaciones más bajas están con tiempos de desarrollo de 150 s y temperatura de 195 °C.

### Figura 12

*Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo sabor residual.*



En la Tabla 7 del Anexo 1, la comparación múltiple de Tukey, muestra que los tratamientos T10 y T13 obtuvieron las puntuaciones más altas de sabor residual, agrupándose en A, lo que indica una menor presencia de sabores no deseados después del consumo. Los tratamientos T11 y T16 clasificados en el grupo B, también mostraron buena calidad en términos de sabor residual, aunque ligeramente inferior a los del grupo A. Por otro lado, los tratamientos en los grupos C, D y E presentaron puntuaciones decrecientes de sabor residual, indicando una presencia mayor de sabores no deseables. Según Gloes et al. (2013) indican que a una temperatura y un tiempo de desarrollo de tostado más altos pueden producir un café más oscuro con un sabor residual más pronunciado, mientras que un



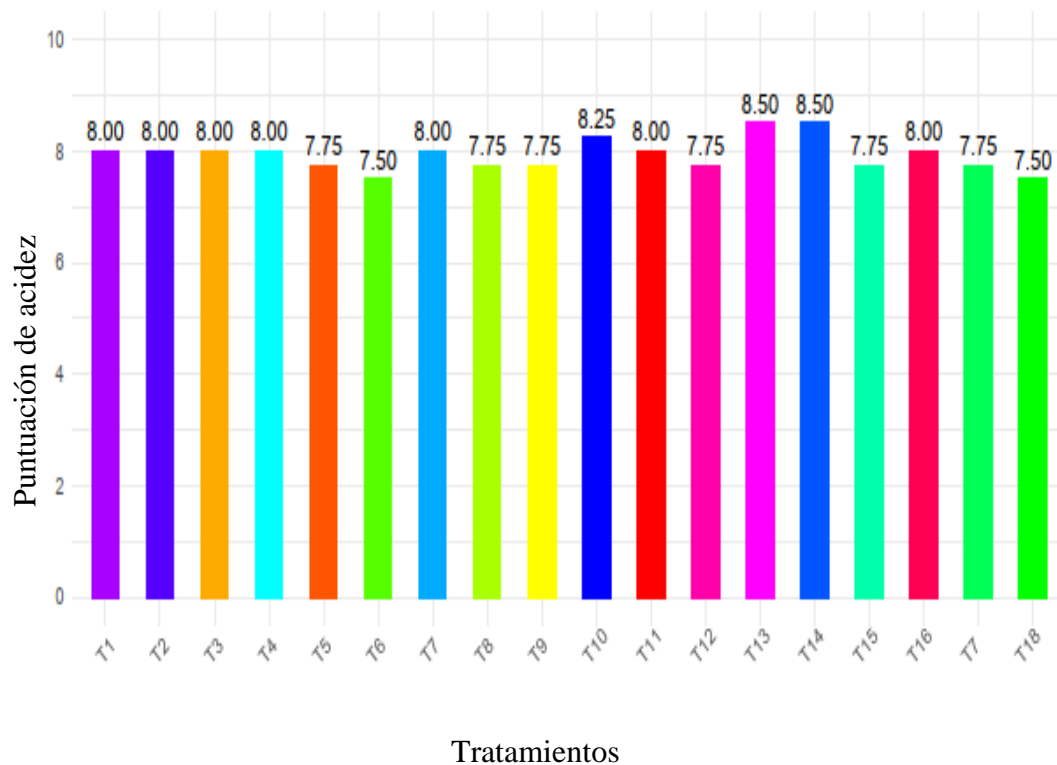
tostado más ligero puede resultar en un sabor residual más suave y delicado. También, Vilca (2014) encontró que los cafés cultivados a mayores altitudes suelen exhibir sabores residuales más pronunciados y complejos en comparación con aquellos cultivados a altitudes más bajas. Este fenómeno se atribuye a la maduración más lenta de los granos de café a altitudes más altas, lo que permite una acumulación más completa de azúcares y compuestos aromáticos en los granos, contribuyendo así a un sabor residual más rico y duradero en la taza final.

**d) Acidez.**

En la Figura 13, se presentan los promedios de las puntuaciones. Estas puntuaciones son considerablemente elevadas con lo que respecta a la Acidez, indicando que los catadores evaluaron positivamente la calidad sensorial de todas las condiciones experimentales estudiadas.

**Figura 13**

*Comparación de las puntuaciones del atributo Acidez, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*

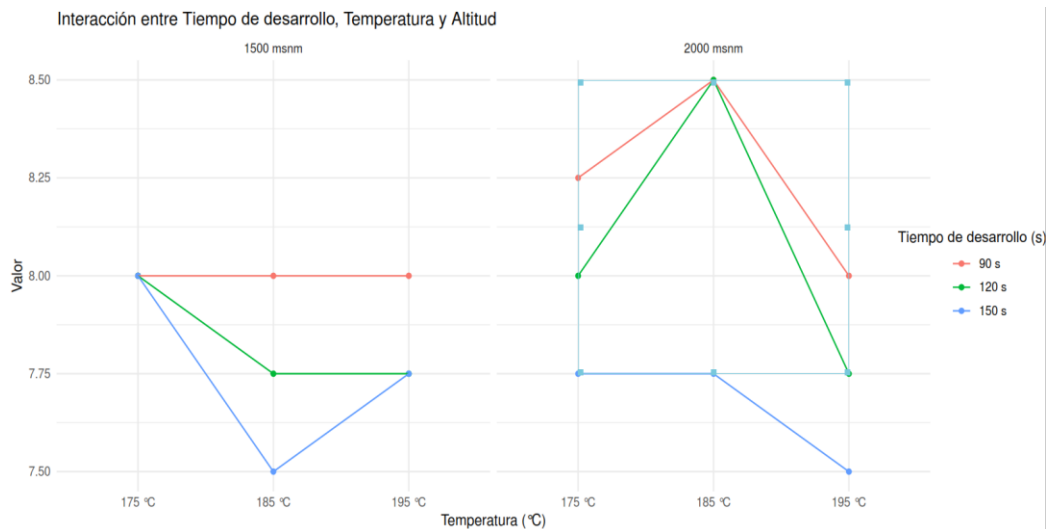


En la Tabla 8 del Anexo 1, el ANOVA indica que los factores estudiados Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud tienen un efecto significativo en el atributo acidez del café variedad Bourbon producido en altura. Las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura, tiempo de desarrollo y altitud, y temperatura y altitud tienen efecto significativo, así como la interacción triple, también afectan significativamente en el atributo acidez del café. En la Figura 14 se muestra que el mejor perfil de acidez del café se obtiene a 2000 msnm, con tiempos de desarrollo de 90 s y temperaturas de 175 °C y 185 °C. Esto sugiere que las puntuaciones de acidez son más altas a 2000 msnm que a 1500 msnm. Los

tiempos de desarrollo más cortos (90 s, 120 s) y las temperaturas más bajas (175 °C y 185 °C) resulta con mejor acidez en ambas altitudes.

### Figura 14

*Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo acidez.*



Según la Tabla 9 del Anexo 1, tras realizar el análisis de comparación múltiple de Tukey, se observa que los tratamientos T14 y T13 obtuvieron las puntuaciones más altas de sabor residual, agrupándose en A, lo que indica una mejor calidad sensorial del atributo. El tratamiento T10, clasifica en el grupo B, también mostrando buena calidad en términos de acidez, aunque ligeramente inferior a los del grupo A. Por otro lado, los tratamientos en los grupos C, D y E presentaron puntuaciones decrecientes de acidez, sugiriendo que esas combinaciones particulares pueden no ser ideales para obtener una buena acidez en el producto final. Rao (2014) manifiesta que la altitud es solo un factor de uno de los muchos factores que afectan la acidez del café, como el tipo de café, la



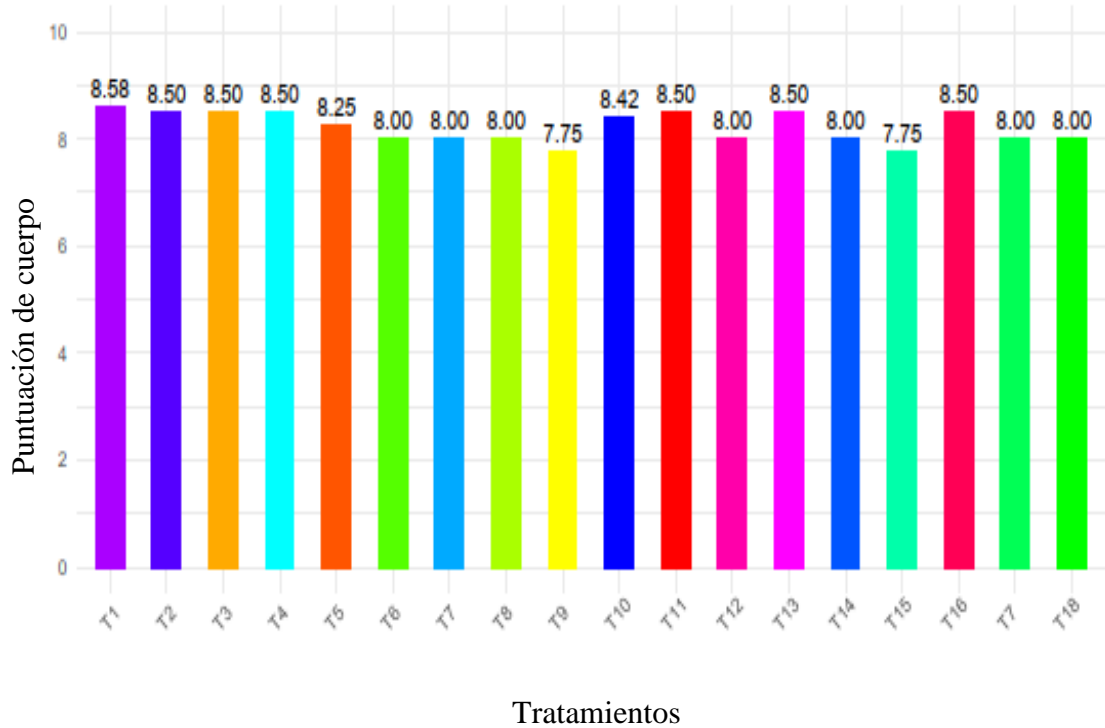
variedad de café, la forma de procesamiento, etc. La temperatura de tostado tiene un efecto significativo en la puntuación de la acidez del café. Los cafés tostados a temperaturas más altas tienden a tener una puntuación de acidez más alta. Esto se debe a que las temperaturas más altas descomponen los ácidos orgánicos del café, lo que libera los sabores ácidos. Los cafés tostados durante períodos de tiempo cortos tienden a tener una puntuación de acidez más alta. Esto se debe a que los tiempos de tostado cortos permiten que los ácidos orgánicos del café sean elevados.

**e) Cuerpo.**

En la Figura 15, se presentan los promedios de las puntuaciones. Estas puntuaciones son considerablemente elevadas con lo que respecta al aroma, indicando que los catadores evaluaron positivamente la calidad sensorial de todas las condiciones experimentales estudiadas.

**Figura 15**

*Comparación de las puntuaciones del atributo Cuerpo, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*



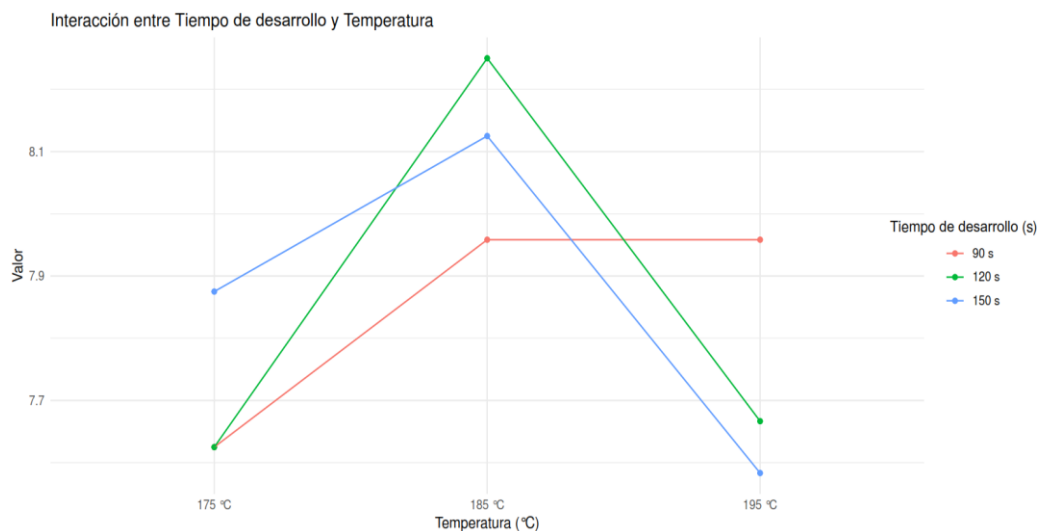
En la Tabla 10 del Anexo 1, el ANOVA indica que los factores estudiados Temperatura y Altitud tienen un efecto significativo en el atributo cuerpo del café variedad Bourbon producido en altura. Las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura tienen efecto significativo. En la Figura 16 se muestra la interacción de tiempo de desarrollo y temperatura. A 175 °C, el valor es generalmente bajo, alcanzando su máximo con 150 segundos. En contraste, a 185 °C, el valor del atributo es más alto para todos los tiempos, especialmente con 120 s. A 195 °C, el valor del atributo disminuye notablemente para 120 y 150 segundos, mientras que se mantiene constante para 90 s, la combinación óptima para maximizar el atributo cuerpo es una temperatura de 185 °C con un tiempo de



desarrollo de 120 s, indicando que estos parámetros son óptimos para obtener la mejor evaluación sensorial del cuerpo del café.

### Figura 16

*Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo cuerpo.*



Según la Tabla 11 del apartado de Anexo 1, tras realizar el análisis de comparación múltiple de Tukey, el tratamiento T1 obtuvo la puntuación más alta en el atributo cuerpo, agrupándose en A, lo que indica una excelente calidad sensorial en términos de cuerpo. Le sigue los tratamientos T2, T3, T4, T11, T13 Y T16 del grupo B. Estos tratamientos representan combinaciones óptimas de tiempo de desarrollo, temperatura y altitud que realzan las cualidades sensoriales deseadas. Por otro lado, los tratamientos con calificaciones más bajas se ubican los grupos C, D y E conformados por: C: T5, D: T6, T8, T7, T12, T14, T17 Y T18. Finalmente, las que recibieron la puntuación más baja pero iguales estadísticamente, se designan como grupo E: T9 y T15. Se distingue D como la



condición de menor aceptación sensorial. Chávez Rafael & Ordoñez Gómez, (2021) encontraron que los granos de café cultivados a mayores altitudes presentaban una mejor calidad en términos de atributos sensoriales, incluido el cuerpo del café. Esto sugiere que la altitud de cultivo del café puede influir significativamente en la calidad del grano y sus atributos sensoriales. De acuerdo con Yusibani et al. (2023) han observado que el tiempo de tostado más prolongado tiende a producir granos de café más oscuros y densos, lo que contribuye a un cuerpo más completo y pesado en la taza. Por otro lado, la temperatura de tostado también juega un papel crucial, los cafés tostados a temperaturas altas suelen producir cafés con un cuerpo más robusto y pronunciado, mientras que tostados más bajos pueden resultar en una sensación de cuerpo más ligero y suave en la boca.

**f) Uniformidad.**

En la Tabla 12 del Anexo 1, se reporta el ANOVA, que indica que los factores estudiados Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud no tienen un efecto significativo en el atributo uniformidad del café variedad Bourbon producido en altura.

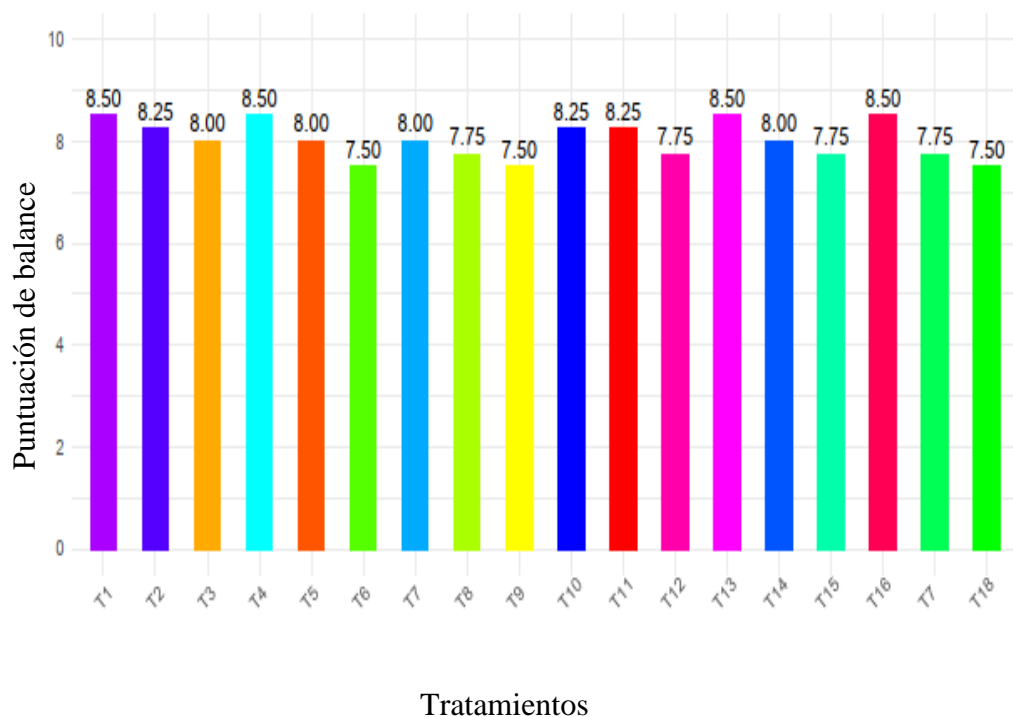
Según Gloes et al. (2013) han señalado que, en algunos casos, no se encuentran diferencias significativas en la uniformidad sensorial del café en relación con la altitud, la temperatura de tostado y el tiempo de tostado. Estos hallazgos respaldan la idea de que, en ciertos contextos o condiciones específicas, estas variables pueden no influir de manera significativa en la uniformidad del café.

### g) Balance.

En la Figura 17, se presentan los promedios de las puntuaciones. Estas puntuaciones son considerablemente elevadas con lo que respecta al balance, indicando que los catadores evaluaron positivamente la calidad sensorial de todos los tratamientos estudiados.

**Figura 17**

*Comparación de las puntuaciones del atributo balance, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*

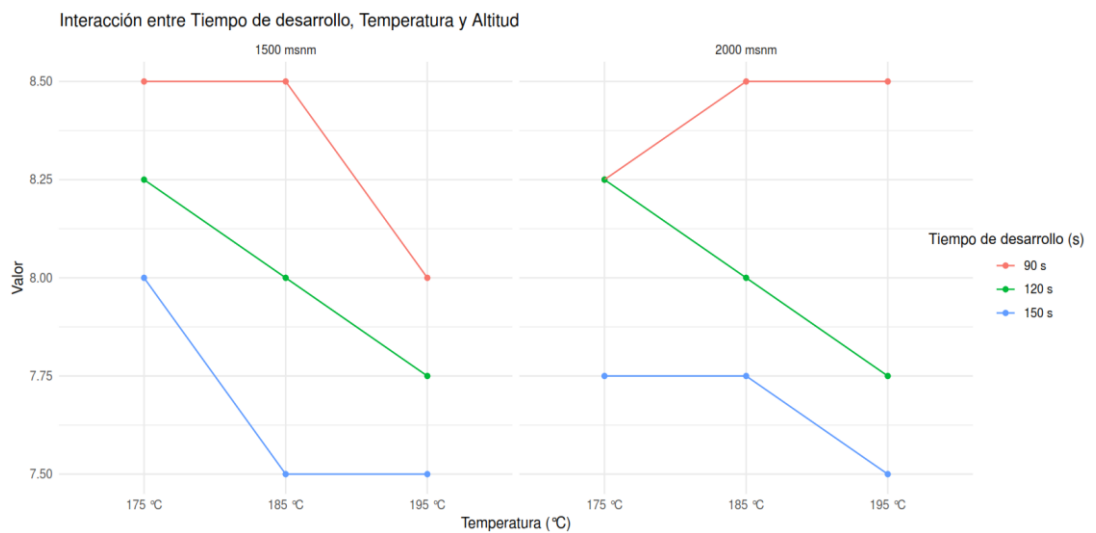


En la Tabla 13 del Anexo 1, el ANOVA de que indica que los factores estudiados Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud tienen un efecto significativo en el atributo balance del café variedad Bourbon producido en altura. Las interacciones entre altitud y temperatura, altitud y tiempo, y temperatura y tiempo son significativas, así como la interacción triple, también afectan

significativamente en el atributo balance del café. La Figura 18 se muestra que la combinación de 90 s de tiempo de desarrollo y una temperatura de 185 °C es la más efectiva, tanto a una altitud de 1500 msnm como a 2000 msnm. Las puntuaciones a 2000 msnm son más consistentes, esta combinación de tiempo y temperatura proporciona las mejores evaluaciones sensoriales del atributo balance en ambas altitudes. En general, las puntuaciones de balance son más altas a 2000 msnm, mostrando mayor sensibilidad a los cambios de tiempo y temperatura en altitudes más altas. Esto indica que tanto el tiempo de desarrollo como la temperatura influyen considerablemente en el balance del café, con altitudes más altas tendiendo a mejores perfiles de balance.

### Figura 18

*Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo balance.*



Basándose en los resultados de la Tabla 14 del Anexo 1, tras realizar el análisis de comparación múltiple de Tukey, los tratamientos T1, T4, T13 y T16



obtuvieron las puntuaciones más altas en el atributo balance, agrupándose en A, lo que indica una excelente calidad sensorial en términos de balance. Estos tratamientos representan combinaciones óptimas de tiempo de desarrollo, temperatura y altitud que realzan las cualidades sensoriales deseadas. Por otro lado, los tratamientos con calificaciones más bajas se ubican los grupos D, E, conformados por: D: T8, T12, T15 y T17. E: T6, T9 y T18. Se distingue E como la condición de menor aceptación sensorial.

En su investigación, Chávez & Ordoñez (2021) encontraron que la altitud de cultivo del café tenía un impacto significativo en la composición química de los granos y, por ende, en sus atributos sensoriales como es el sabor y el aroma que esto unido daría al balance. Rao (2014) manifiesta que los granos de café cultivados a mayores altitudes tendían a madurar más lentamente y desarrollar compuestos químicos y aromáticos más complejos, lo que se traducía en una mayor calidad organoléptica y una gama más amplia de sabores en la taza final.

#### **h) Taza limpia**

En la Tabla 15 del Anexo 1, se reporta el ANOVA, de que indica que los factores estudiados Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en esta investigación, frente al atributo taza limpia, muestran que dichos factores no influyeron significativamente en la puntuación de los catadores en lo que respecta a la taza limpia del café.

Estos resultados pueden deberse a que los factores estudiados, altitud, temperatura y tiempo de tostado, no tienen un impacto significativo en la puntuación de taza limpia del café.



Pérez et al. (2020) indica que el tiempo y la temperatura de tostado son factores críticos a considerar. Aunque las temperaturas más altas pueden resultar en granos de café más oscuros, lo que a menudo se percibe como un signo de tostado intenso, también existe el riesgo de que estas altas temperaturas provoquen defectos en el tostado. Estos defectos pueden manifestarse en sabores indeseables y otros aspectos que afectan negativamente la calidad del café y, por ende, su puntaje en términos de taza limpia.

**i) Dulzor.**

En la Tabla 16 del Anexo 1, se reporta el cuadro ANOVA, de que indica que los factores estudiados tiempo de desarrollo, la temperatura de tostado y la altitud en esta investigación, frente a la puntuación del atributo dulzor, muestran que dichos factores no influyeron significativamente en la puntuación de los catadores en lo que respecta al dulzor del café.

Estos resultados pueden deberse a que los factores estudiados tiempo de desarrollo, la temperatura de tostado y la altitud, no tienen un impacto significativo en el dulzor del café. Es posible que otros factores, como la variedad de café, el método de procesamiento o el método de preparación, tengan un impacto mayor en el dulzor del café. Según Gloes et al. (2013) observaron que el café cultivado a mayores altitudes tiende a exhibir un mayor contenido de azúcares naturales, lo que contribuye a una percepción más pronunciada de dulzor en el café. Además, investigaciones realizadas por Lucy et al., (2015) respaldan estos hallazgos, encontrando una correlación positiva entre la altitud de cultivo y la intensidad del dulzor en la evaluación sensorial del café. Estos resultados sugieren que la altitud puede desempeñar un papel crucial en la promoción de la dulzura



natural del café debido a las condiciones climáticas y de suelo específicas que favorecen el desarrollo de azúcares en los granos de café.

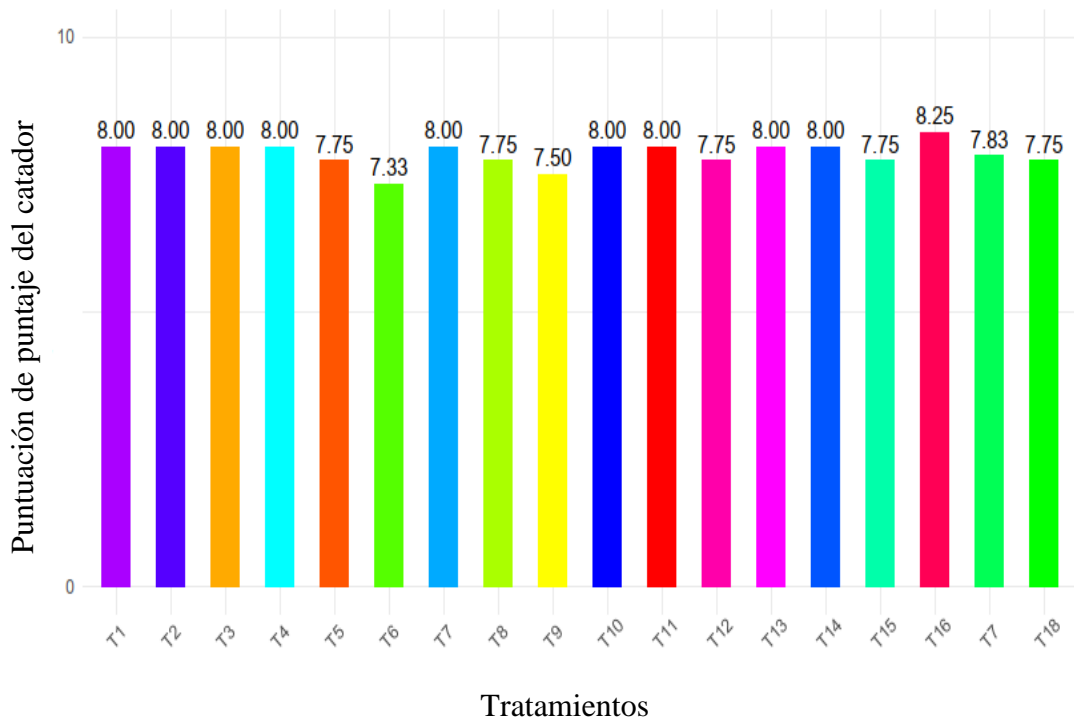
Pérez et al. (2020) indican que un tiempo de tostado prolongado a temperaturas moderadas puede favorecer la liberación de compuestos aromáticos y dulces, mejorando así la percepción de dulzura en el café. Además, investigaciones realizadas por Pérez et al. (2020) respaldan estos hallazgos al demostrar que el proceso de tostado controlado puede aumentar la concentración de azúcares residuales en el café, realzando su dulzor y complejidad de sabor.

#### **j) Puntaje del catador.**

En la Figura 19, se presentan los promedios de las puntuaciones. Estas puntuaciones son considerablemente elevadas con lo que respecta al atributo puntaje del catador, indicando que los catadores evaluaron positivamente la calidad sensorial de todos los tratamientos estudiados.

**Figura 19**

*Comparación de puntuación del atributo puntaje del catador, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*



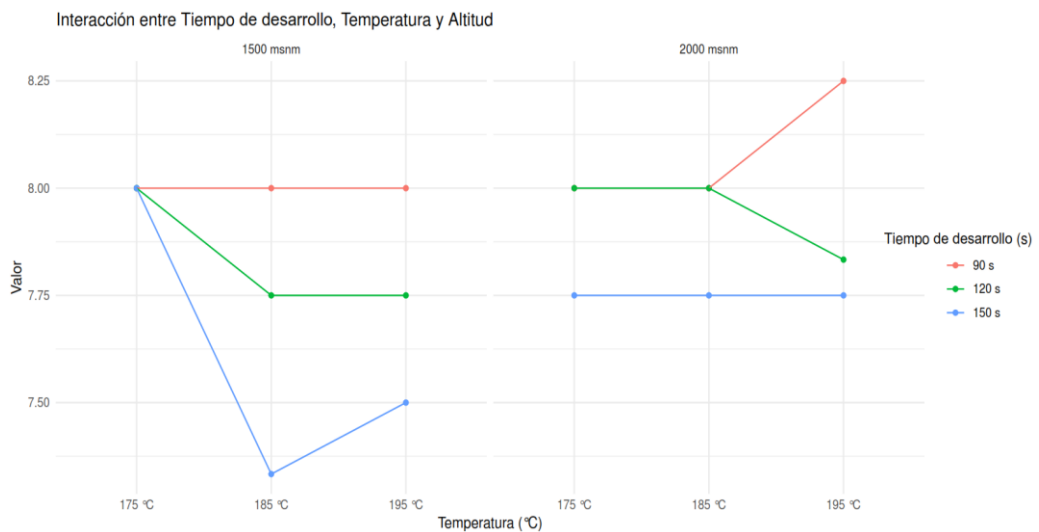
En la Tabla 17 del Anexo 1, el ANOVA muestra que el tiempo de desarrollo, la temperatura de tostado y la altitud tienen efecto significativo en el puntaje del catador para el café variedad Bourbon producido en altura. Además, las interacciones entre temperatura y altitud, así como la interacción triple, también afectan significativamente el puntaje del catador. En la Figura 20 se muestra que a 2000 msnm con una temperatura de 195 °C y un tiempo de desarrollo de 90 s se obtiene un mejor puntaje en el atributo puntaje del catador, mientras que a 1500 msnm las evaluaciones son más variables y generalmente más bajas, destacando una caída significativa a 185 °C con 150 s. En general, los puntajes son más altos a 2000 msnm, indicando una mayor sensibilidad a los cambios de



tiempo y temperatura en altitudes más bajas y sugiriendo que las combinaciones de 90s y temperaturas de 175 °C a 195 °C tienden a producir mejores puntajes.

### Figura 20

*Interacciones de Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud en el atributo puntaje del catador.*



Según la Tabla 18 del apartado de Anexo 1, tras realizar el análisis de comparación múltiple de Tukey, se observa que el tratamiento T16, obtuvo la puntuación más alta en el atributo puntaje del catador, agrupándose en A, lo que indica una excelente calidad sensorial en términos de balance. Este tratamiento representa combinaciones óptimas de tiempo de desarrollo, temperatura y altitud que realzan las cualidades sensoriales deseadas. Por otro lado, los tratamientos con calificaciones más bajas se ubican los grupos D, E, conformados por: D: T9. E: T6. Se distingue E como la condición de menor aceptación sensorial.

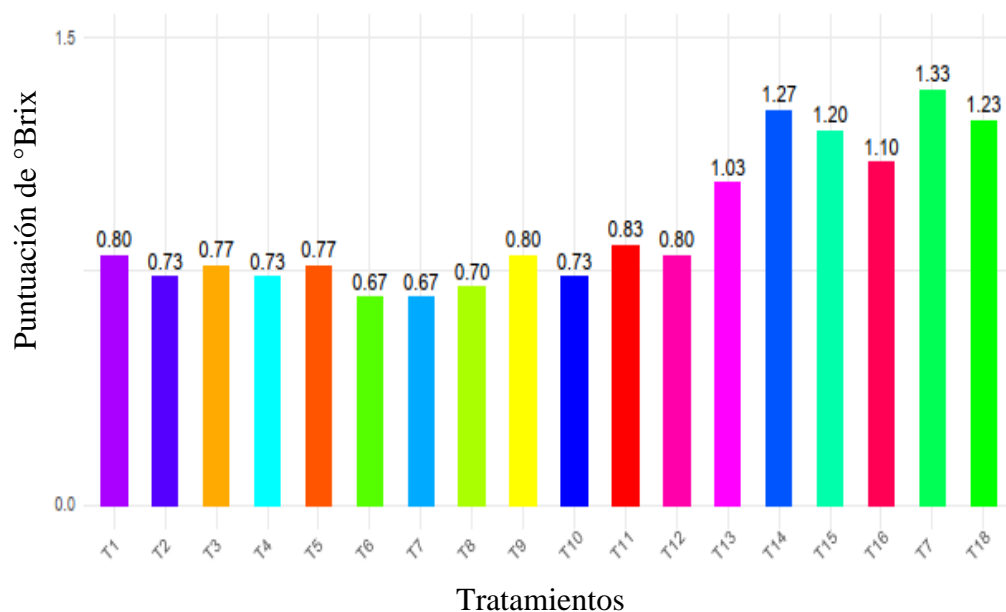
## 4.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL CAFÉ VARIEDAD BOURBON

### a) °Brix

En la Figura 21, se presentan los promedios del análisis °Brix.

**Figura 21**

*Comparación de °Brix, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*

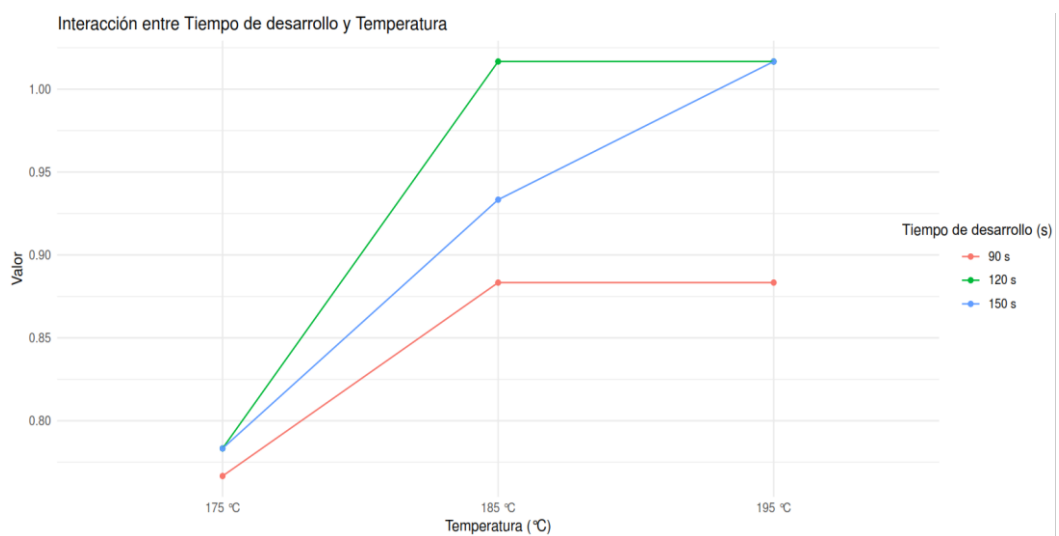


La Tabla 19 del Anexo 1, presenta el ANOVA que muestra que el tiempo de desarrollo, la temperatura de tostado y la altitud tienen efecto significativo en el contenido de sólidos solubles (Brix) del café. Las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura, así como entre tiempo de desarrollo y altitud, también como temperatura y altitud son significativas, sugiriendo que estos efectos varían según la altitud. La interacción entre temperatura y tiempo también es significativa, indicando que el impacto del tiempo de tostado depende de la temperatura utilizada. Sin embargo, la interacción entre los tres factores (altitud, temperatura y tiempo) no es significativa, lo que sugiere que su combinación compleja no tiene un impacto notable en el contenido de sólidos solubles del café.

En la Figura 22 se muestra la interacción A x B, los °Brix más altos del café, se obtienen a 195 °C con tiempos de desarrollo de 120 y 150 s. En contraste, las temperaturas más bajas (175 °C) resultan en los °Brix más bajos. En general, los tiempos de desarrollo más largos y las temperaturas más altas son óptimos para obtener un mayor °Brix.

### Figura 22

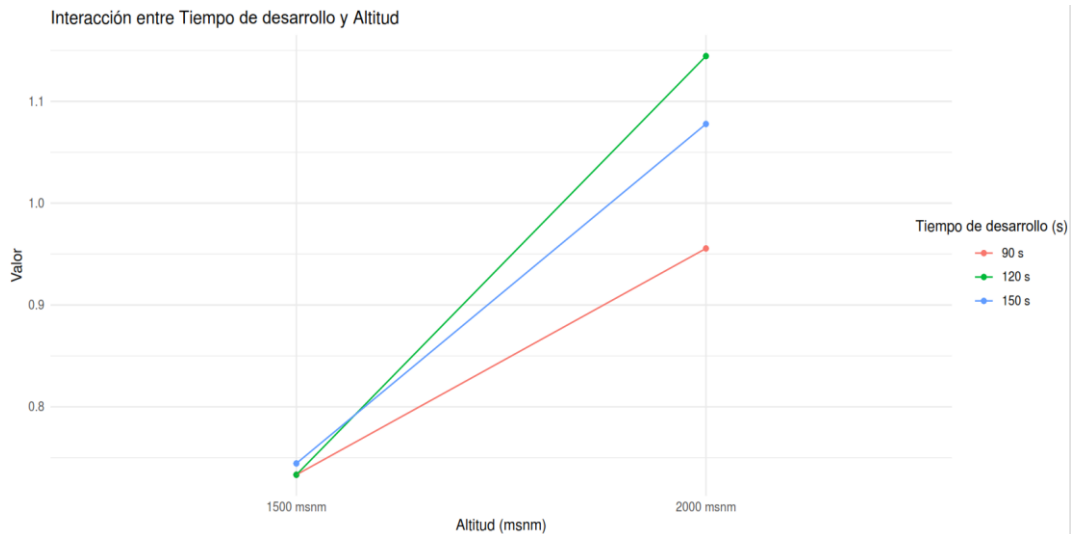
*Interacciones de Tiempo de desarrollo x Temperatura en el análisis °Brix.*



En la Figura 23 se muestra la interacción A x C, los °Brix más altos se obtienen a 2000 msnm con un tiempo de desarrollo de 120 s, mientras que, a 1500 msnm, los °Brix son consistentemente bajos y prácticamente no varían con el tiempo de desarrollo. La altitud de 2000 msnm y los tiempos de desarrollo más largos son óptimos para obtener un mayor °Brix.

### Figura 23

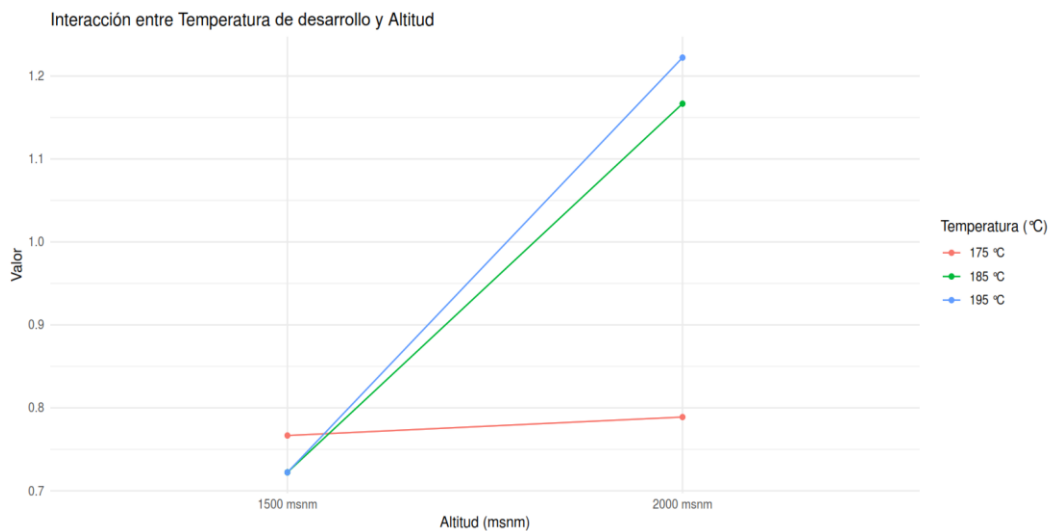
*Interacciones de Tiempo de desarrollo x Altitud en el análisis °Brix.*



En la Figura 24 se muestra que los °Brix varían significativamente con la temperatura y la altitud. A 1500 msnm, los °Brix se mantienen relativamente constante alrededor de 0.77 a 0.72 a medida que la temperatura aumenta de 175 °C a 195 °C. En contraste, a 2000 msnm, los °Brix aumentan considerablemente con el incremento de la temperatura, alcanzando su máximo de 1.22 a 195 °C. Esto indica que la altitud influye notablemente en los °Brix , con temperaturas más altas resultando en mayores niveles a 2000 msnm, mientras que a 1500 msnm, la temperatura tiene un impacto menor.

**Figura 24**

*Interacciones de Temperatura x Altitud en el análisis °Brix*



Según la Tabla 20 del Anexo 1, tras realizar el análisis de comparación múltiple de Tukey, se observa que los tratamientos T17, T14, T18 y T15 obtuvieron valores más altos de °Brix, agrupándose en A, indicando que el contenido de °Brix aumentó significativamente con el aumento de la temperatura de tostado. A una temperatura de tostado de 195 °C produjo un contenido de °Brix de 1.33. Por otro lado, el tratamiento T6 y T7, clasificados en el grupo D, mostraron el valor más bajo de °Brix, sugiriendo que esa combinación particular puede no favorecer al desarrollo de °Brix. Esto sugiere que una temperatura de tostado más alta provoca la caramelización de los azúcares solubles en el café, lo que aumenta su concentración.

En general, los resultados del estudio sugieren que el tiempo de desarrollo y la temperatura de tostado son factores importantes que influyen en el contenido de °Brix del café. Un tiempo de desarrollo más largo y una temperatura de tostado más alta conducirán a un contenido de °Brix más alto (Otsogile et al., 2022).

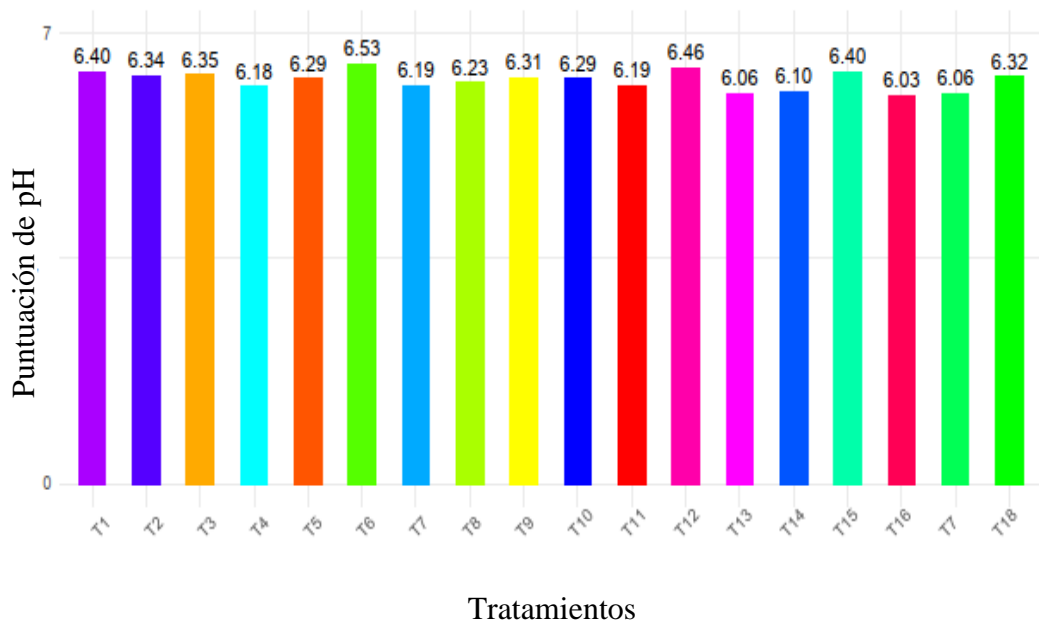
En el efecto del tiempo de tostado, los resultados mostraron que el contenido de °Brix aumentó significativamente con el aumento del tiempo de tostado. Un tiempo de tostado de 120 s produjo un contenido de °Brix de 1.23, mientras que un tiempo de desarrollo de 150 s produjo un contenido de °Brix de 1.33. Esto sugiere que un tiempo de tostado más largo permite que se desarrollen las características químicas, físicas y sensoriales únicas de los cafés tostados (Otsogile et al., 2022).

### b) pH

En la Figura 25, se presentan los promedios del análisis respecto el pH.

**Figura 25**

*Comparación del pH, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*



En base a los resultados presentados, se puede observar que el pH del café disminuye a medida que aumenta la temperatura de tostado y el tiempo de desarrollo de tostado (Yüksel et al., 2020). Este comportamiento se debe a que el calor descompone los ácidos orgánicos presentes en el café, lo que hace que el pH sea más bajo. Se considera que un café con más de 1.35 ° pH es considerada una



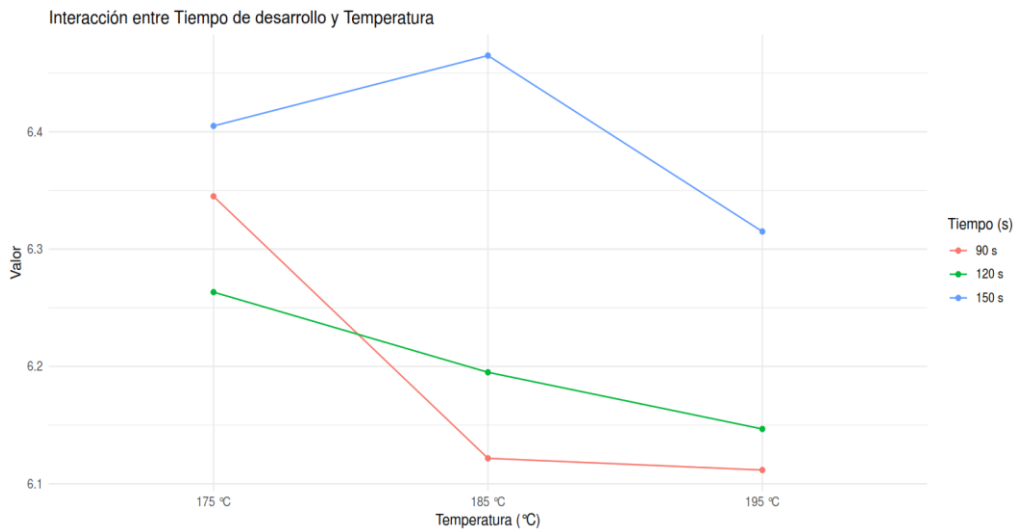
bebida fuerte. Es el caso del café evaluado debido a que posee una mayor concentración de compuestos responsables del sabor (Ortega et al. 2014).

Respecto a la temperatura de tostado es el factor que tiene el mayor efecto sobre el pH del café. A medida que aumenta la temperatura de tostado, el pH disminuye (N. Wang et al., 2011). Esto se debe a que el calor descompone los ácidos orgánicos presentes en el café, como el ácido clorogénico y el ácido cafeico (Shibamoto, 2015). Estos ácidos tienen un pH ácido, por lo que su descomposición hace que el pH del café sea más bajo.

En la Tabla 21 del Anexo 1, se reporta ANOVA muestra que el tiempo de desarrollo, la temperatura de tostado y la altitud tienen efecto significativo en el pH del café. La interacción entre el tiempo de desarrollo y altitud, así como entre tiempo de desarrollo y temperatura, tienen efecto significativo. Sin embargo, la interacción entre la temperatura y la altitud, así como la interacción entre los tres factores, no tienen un efecto significativo. En la Figura 26 se muestra cómo el tiempo de desarrollo (90, 120 y 150 s) y la temperatura (175, 185 y 195°C) afectan el pH en el análisis del café. A 90 s, el pH disminuye al aumentar la temperatura, manteniéndose casi constante entre 185°C y 195°C. A 120 s, el pH disminuye ligeramente y de manera constante con el aumento de la temperatura. A 150 s, el pH primero aumenta de 175°C a 185°C y luego disminuye significativamente hasta 195°C. Esto indica que la interacción entre tiempo y temperatura influye notablemente en el pH, con variaciones más pronunciadas a tiempos más largos.

**Figura 26**

*Interacciones de Tiempo de desarrollo x Temperatura en el análisis pH.*

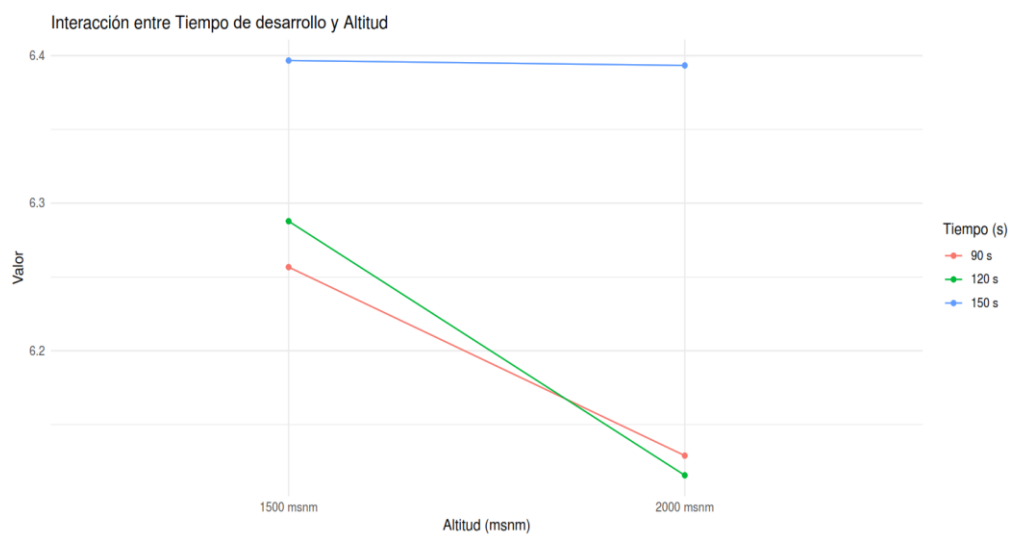


En la Figura 27 se muestra que el pH del café disminuye significativamente al aumentar la altitud de 1500 msnm a 2000 msnm para tiempos de desarrollo de 90 y 120 s, mientras que a 150 s el pH se mantiene casi constante. Esto sugiere que tiempos de desarrollo más largos pueden estabilizar el pH independientemente de la altitud, indicando que tanto la altitud como el tiempo de desarrollo son factores cruciales a considerar para controlar el pH y la calidad del café.



**Figura 27**

*Interacciones de Tiempo de desarrollo x Altitud en el análisis pH.*



Según la Tabla 22 del Anexo 1, tras realizar el análisis de comparación múltiple de Tukey, se observa que el tratamiento T6 obtuvo el valor más alto de pH, ubicándose en A. Por otro lado, T16 obtuvo el valor más bajo clasificado en el grupo F, sugiriendo que a medida que la temperatura de tostado aumenta de 175 a 195 °C. Este cambio es de aproximadamente 0.5 unidades de pH.

El tiempo de tostado también tiene un efecto sobre el pH del café, pero es menor que el de la temperatura de tostado. A medida que aumenta el tiempo de tostado, el pH disminuye. Esto se debe a que el calor tiene más tiempo para descomponer los ácidos orgánicos presentes en el café (Córdoba et al., 2021).

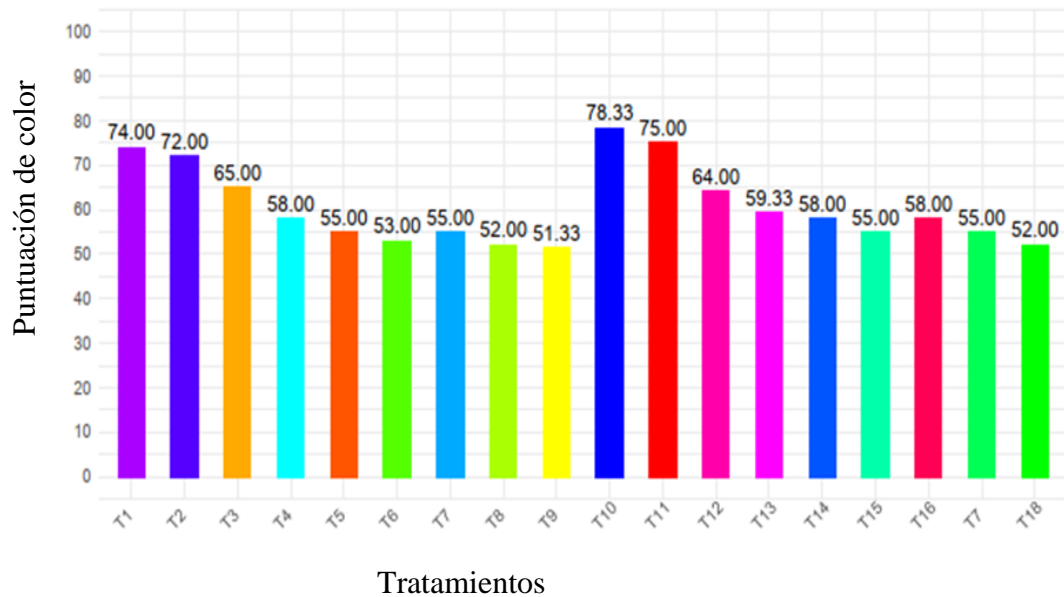
En los resultados presentados, se observa que el pH del café disminuye de 6.53 a 6.1 a medida que el tiempo de tostado aumenta de 90 a 150 s. Este cambio es de aproximadamente 0.4 unidades de pH.

### c) Color

En la Figura 28, se presentan los promedios del análisis.

**Figura 28**

*Comparación del color, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*

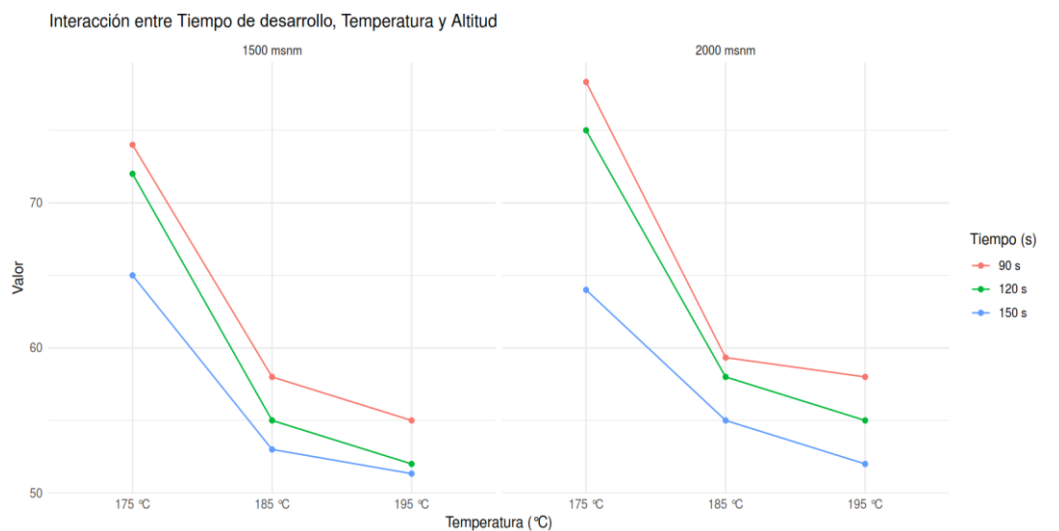


En la Tabla 23 del Anexo 1, se reporta el ANOVA que indica que el tiempo de desarrollo, la temperatura de tostado y la altitud tienen efecto significativo en el color del café. Las interacciones de tiempo de desarrollo y altitud tienen efecto significativo en la apariencia del café. Mientras que la interacción entre altitud y temperatura no es significativa, las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura, así como la interacción triple, también afectan significativamente en el atributo balance del café. En la Figura 29 muestra que, a 1500 msnm y 2000 msnm, la temperatura de 185 °C es la más efectiva para alcanzar el rango de color ideal (55-65), especialmente con tiempos de desarrollo de 90 y 120 s. A 175 °C, los colores son demasiado claros (70-75), mientras que, a 195 °C, los colores son demasiado oscuros (alrededor de 50). La altitud tiene un efecto leve, con valores

ligeramente más altos a 1500 msnm. Para obtener colores dentro del rango ideal, la combinación óptima es 185 °C con tiempos de desarrollo de 90 o 120 s.

### Figura 29

*Interacciones de Tiempo de desarrollo x Temperatura x Altitud en el análisis color.*



Según la Tabla 24 del Anexo 1, tras realizar el análisis de comparación múltiple de Tukey, se observa que el tratamiento T10 obtuvo el valor más alto de color, ubicándose en A. Por otro lado, T9 obtuvo el valor más bajo clasificado en el grupo G, los resultados sugieren que el color del café aumenta a medida que aumenta la altitud, la temperatura o el tiempo de tostado. El café tostado a 195 °C tiene un color más oscuro que el café tostado a 175 °C. Y el café tostado durante 150 s tiene un color más oscuro que el café tostado durante 90 s.

Estos resultados se pueden explicar por la química del proceso de tostado Poisson et al.(2017). El tostado es un proceso de reacción química que produce cambios físicos y químicos en los granos de café (Wei & Tanokura, 2015). Uno de los cambios más importantes que ocurren durante el tostado es la



descomposición de los azúcares y los ácidos. Esta descomposición produce compuestos orgánicos que son responsables del color del café tostado.

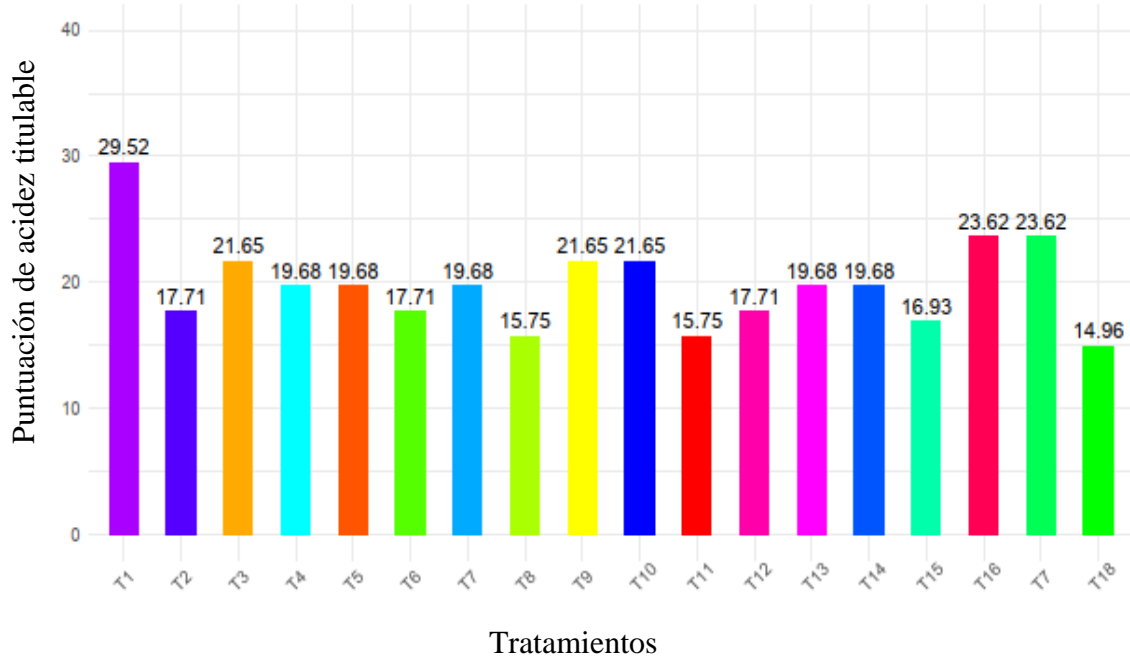
La altitud, la temperatura y el tiempo de tostado afectan la descomposición de los azúcares y los ácidos de diferentes maneras. La altitud afecta la composición química de los granos de café, lo que puede influir en la velocidad a la que se descomponen los azúcares y los ácidos. La temperatura afecta la velocidad a la que se producen las reacciones químicas durante el tostado. El tiempo de tostado afecta la cantidad de tiempo que tienen los azúcares y los ácidos para descomponerse (Macheiner et al., 2021).

#### **d) Acidez titulable**

En la Figura 30, se presentan los promedios del análisis respecto a la Acidez Titulable.

**Figura 30**

*Comparación de la acidez titulable, por Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud.*



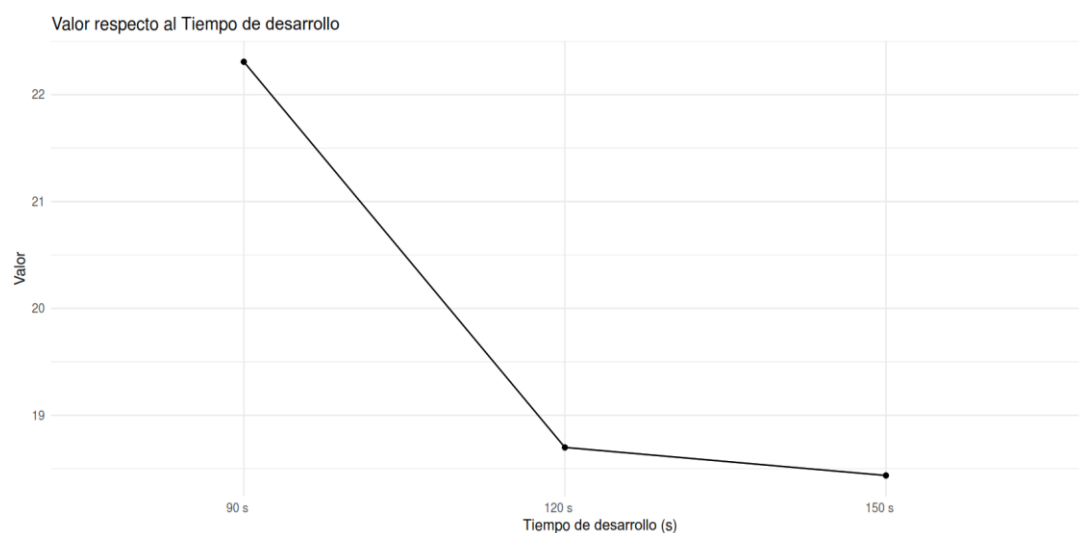
En base a los resultados, se puede observar que la acidez titulable expresada en ácido clorogénico/g del café a medida que aumenta la temperatura y el tiempo de desarrollo del tostado hay una disminución del ácido clorogénico. Un café tostado con una temperatura alta y un tiempo de desarrollo prolongado podría reducir significativamente el ácido clorogénico en el grano tostado.

En la Tabla 25 del Anexo 1, se reporta el ANOVA indica que la temperatura y la altitud no tienen un efecto significativo en la acidez titulable del café Bourbon producido en altura. Sin embargo, el tiempo de desarrollo del tostado sí tiene un efecto significativo en la acidez, sugiriendo que la duración del proceso de tostado influye considerablemente en la acidez. Las interacciones entre tiempo de desarrollo y temperatura, tiempo de desarrollo y altitud, temperatura y

altitud, así como los tres factores juntos, no muestran efectos significativos en la acidez titulable del café. En la Figura 31 se muestra que la acidez titulable del café disminuye notablemente al aumentar el tiempo de desarrollo de 90 a 120 segundos, y luego se estabiliza de 120 a 150 segundos. Esto sugiere que el tiempo de desarrollo es un factor crucial para controlar la acidez del café, con tiempos más largos resultando en una menor acidez.

### Figura 31

*Tiempo de desarrollo en el análisis acidez titulable.*



De los factores evaluados, solo el tiempo de desarrollo del tostado tiene un efecto significativo en la acidez titulable del café. Las variaciones en altitud y temperatura, así como sus interacciones, no influyen significativamente en este aspecto químico del café Bourbon producido en altura. Esto sugiere que la duración del tostado es un factor crucial para controlar la acidez del café, mientras que la altitud y la temperatura tienen un impacto menor. Según Farah & Donangelo (2006) el contenido de ácido clorogénico en el café tostado oscila entre 10-40 mg/g en materia seca, los resultados encontrados, por tanto, coinciden con los valores reportados en la literatura. Félix (2009), menciona que, por la



inestabilidad térmica, los ácidos clorogénicos podrían ser casi completamente degradados en derivados de fenol cuando están en condiciones de intenso tostado. En el proceso del tostado, una parte de los ácidos clorogénicos son isomerizados, otra parte son transformados en quinolactonas debido a la deshidratación y la formación de un vínculo intramolecular, y parte es hidrolizado y degradado en compuestos de bajo peso molecular.



## V. CONCLUSIONES

El tiempo de desarrollo, la temperatura y las altitudes tienen efecto en los atributos aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, y puntaje del catador, sin embargo, el atributo uniformidad, taza limpia y dulzor no presentaron efectos. La altitud de cultivo del café es un factor determinante en la calidad del aroma y el sabor del café. Se observó que los granos cultivados a mayores altitudes 2000 msnm presentaron una mayor calidad organoléptica en comparación con aquellos procedentes de altitudes 1500 msnm más bajas.

El tiempo de desarrollo, la temperatura y las altitudes afectaron la composición química y física del café. Las temperaturas más altas, como 195 °C, produjeron un café más oscuro y con un sabor más intenso. Los tiempos de tostado más largos redujeron la acidez titulable debido a la descomposición de los ácidos orgánicos. También se observó un aumento en el contenido de sólidos solubles con temperaturas más altas y tiempos más largos de tostado. Además, el pH del café disminuyó con el aumento de la temperatura y el tiempo de tostado. En cuanto al color, los cafés tostados a altitudes más elevadas, temperaturas más altas y tiempos más prolongados mostraron tonos más oscuros.





## VI. RECOMENDACIONES

Es importante señalar que el estudio se realizó con café variedad bourbon producido en altitudes de 1500 y 2000 msnm. Es posible que los resultados sean diferentes para otras variedades de café o altitudes. Se recomienda determinar tanto las características sensoriales y físicas comparando con otras variedades de café y tener en cuenta el control de todo el proceso, además se recomienda efectuar investigaciones del café peruano en distintos lugares de cultivos optimizar el beneficio postcosecha.

Se recomienda para futuras investigaciones tener en cuenta el color de los niveles de tueste, así también efectuar una caracterización acerca de los componentes que tiene el grano de café para así el estudio sea más amplio.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldave, G. (2019). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS. In *Laboratorio de Fisicoquímica*. Universidad Nacional Mayor San Marcos.
- Angeloni, S., Mustafa, A. M., Abouelenein, D., Alessandroni, L., Acquaticci, L., Nzekoue, F., Petrelli, R., Sagratini, G., Vittori, S., Torregiani, E., & Caprioli, G. (2021). Caracterización del perfil aromático y principales odorantes clave del café expreso. *Molecules*, 26(13), 1–29. <https://doi.org/10.3390/molecules26133856>
- Arboleda, A. M., & Alonso, J. C. (2015). Using scent to evaluate personal involvement with a product and perception of quality. *Estudios Gerenciales*, 31(137), 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2015.07.003>
- Calle, S. (2011). *Determinación analítica de la cafeína en diferentes productos comerciales*.
- Camará Peruana de Café y Cacao. (2017). *Estudio de mercado del café peruano*.
- Cámara Peruana del Café. (2004). *Historia del café en el Perú*. <https://camcafeperu.com.pe/ES/editorial.php?id=6>
- Caporaso, N., Whitworth, M., & Fisk, I. (2022). Predicción del aroma del café a partir de granos de café tostados mediante imágenes hiperespectrales. *Food Chemistry*, 371, 131159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131159>
- Castillo, M., López, P., & Hernández, R. (2016). Categorization of coffee bean roasting using scales that impact significant physicochemical changes. *Food Chemistry*, 52(7), 1023-1032.
- Chancos, T. (2023). *Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en la calidad sensorial de café de tres variedades producidos en el VRAEM*.



- Chávez, R. (2019). "Evaluación de la calidad, fisicoquímica y sensorial de granos de café verde oro (*Coffea arábica*) de diferentes zonas- Leoncio Prado". Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Chávez Rafael, A. A., & Ordoñez Gómez, E. S. (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>
- Córdoba, N., Moreno, F., Osorio, C., Velásquez, S., & Ruiz, Y. (2021). Chemical and sensory evaluation of cold brew coffees using different roasting profiles and brewing methods. *Food Research International*, 141, 110141. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110141>
- Dávila, J. (2018). *Influencia de parámetros de tostado de café especial sobre el puntaje de taza obtenido mediante un panel de jueces certificados*.
- Díaz, P. A. (2014). Efectos de la altitud sobre la calidad del café torrefactado (*Coffea arábica* L. Var. Colombia) producido en los municipios de Buesaco y La Union – Nariño, pertenecientes al ecotopo e – 220 A. Universidad Nacional abierta a Distancia. Bogotá – Colombia.
- Díaz, A., & Perdomo, A. (2015). Caracterización físico-química y sensorial de dos variedades de café (*Coffea arabica*) del occidente de honduras. Honduras.
- Educafés. (2014). *Manual del tostador de café*.
- Escamilla, E. (2007). *Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México*. M. F. Altamirano.
- Estrella, L. (2015). *Evaluación física y sensorial de cuatro variedades de café (Coffea arábica L.) tolerantes a Roya (Hemilela vasatrix), en relación a dos pisos ecológicos de las provincias de Lamas y Rioja*. Universidad Nacional de San Martín.
- Farah, A., & Donangelo, C. (2006). Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 23–36. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003>



- Felix, M. (2009). *Determinación de ácidos clorogénico y cafeico, cafeína, polifenoles totales y actividad antioxidante de tres variedades del café.*
- Gloes, R., Schmidt, J., & Müller, D. (2013). Effects of roasting conditions on coffee flavor: A comprehensive review. *Journal of Coffee Research*, 39(2), 127-143.
- Gómez, A. (2016). *Valoración económica y bienestar social por uso recreativo de parque Zonal Huáscar, en Lima Metropolitana, periodo 2015.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- Halal, S. (2008). Composición, Procesamiento y Calidad del Café. In *Curso de Bacharelado em Química de alimentos.*
- Henao, J. (2016). *Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza.*
- Hoffmann, J. (2014). *The World Atlas of Coffee: From Beans to Brewing - Coffees Explored, Explained and Enjoyed.* Firefly Books.
- Illy, A., & Viani, R. (2005a). *Espresso Coffee. The Science of Quality.*
- Klein, B., & Croijmans, I. (2023). Hablemos mientras tomamos un café: explorando el efecto de las descripciones de los sabores del café en las imágenes y el comportamiento del consumidor. *Food Quality and Preference*, 105, 104757.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104757>
- Lucy, A., Noguera, D., Perdomo, A. M., Escuela, R., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2015). *Caracterización físico-química y sensorial de dos variedades de café (Coffea arabica) del occidente de Honduras.*
- Macheiner, L., Schmidt, A., & Mayer, H. (2021). Una base novedosa para monitorear el proceso de tostado del café: reacciones de isomerización de los ácidos 3-cafeoilquínico y 4-cafeoilquínico. *LWT*, 152, 112343. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112343>



- Mamani, M., & Condori, S. (2019). Evaluación de la calidad física y sensorial de tres variedades de café (*Coffea arabica* L.) en tres zonas agroecológicas del distrito de San Juan del Oro-Sandia. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Medina, J., & Campo, E. (2006). Evaluación Del Rendimiento De Extracción De Algunas Cafeteras. *Cenicafé*, 57(1), 31–36.
- Morning Coffee Journal. (2023). *The Influence of Altitude on Coffee Quality*. Morning Coffee Journal, 12(4), 23-29.
- Nayra, E. (2020). *Evaluación de la calidad sensorial del café (Coffea arábica L.) por su altitud y horas de fermentación en tres pisos ecológicos del distrito de Tabaconas*.
- Osorio, V. (2022). *La calidad del café*. [https://doi.org/10.38141/10791/0014\\_12](https://doi.org/10.38141/10791/0014_12)
- Otsogile, K., Seifu, E., & Bultosa, G. (2022). *Propiedades fisicoquímicas y calidad sensorial del café Motlopi (Boscia albitrunca) preparado con diferentes combinaciones de temperatura y tiempo*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10829>
- Paima, J. (2017). Influencia de tres pisos altitudinales en las características físicas y sensoriales del café ( *Coffea arábica* L.) variedad Catimor en los distritos de Lamas y Alonso de Alvarado Roque. Tarapoto : Universidad Nacional de San Martín.
- Partelli, F. L., Machado Filho, J. A., & Silva, R. V. (2022). *Impact of Altitude on Coffee Quality: Sensory and Chemical Profiles*. Journal of Coffee Research, 15(2), 45-58.
- Pereira, M. (2008). *Características fisicoquímicas y sensoriales de los cultivares de café: Características químicas, fisicoquímicas y sensoriales de los genotipos del grano de café (Coffea arabica L.)*.
- Pérez, A., García, B., & Martínez, C. (2020). Effects of prolonged roasting time at moderate temperatures on the release of aromatic and sweet compounds in coffee. *Journal of Coffee Studies*, 47(4), 512-528.



- Poisson, L., Blank, I., Dunkel, A., & Hofmann, T. (2017). The Chemistry of Roasting—Decoding Flavor Formation. *The Craft and Science of Coffee*, 273–309. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00012-8>
- Prieto, Y. A. (2002). Caracterización física del café semitostado. Fundación Universidad de América. Bogotá – Colombia.
- Protocolo SCA. (2015). *Evaluación sensorial del café*.
- Ramos, E. (2019). Comparación de calidad de café (*Coffea arabica* L.) en San Juan del oro - Puno -Perú y Apolo la Paz - Bolivia. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Rao, V. (2014). *The Coffee Roaster's Companion: Scott Rao's Coffee Roasting Companion*. Scott Rao.
- Rojas, G. (2005). *Caracterización del aroma del café molido de Puerto Rico mediante la técnica de microextracción en fase sólida (SPME) y cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masas (GC/MS)*. Universida de Puerto Rico.
- Salazar, A. (2022). *Análisis Sensorial del Café*.
- Shibamoto, T. (2015). Volatile Chemicals from Thermal Degradation of Less Volatile Coffee Components. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 129–135. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00014-0>
- Smith, J., Brown, A., & Jones, C. (2018). *Impact of Altitude on Coffee Bean Quality: A Comprehensive Study*. *Journal of Coffee Science*, 42(3), 305-321.
- Thurston, R., & Morris, J. (2013). *Coffee: A Comprehensive Guide to the Bean, the Beverage, and the Industry*. Rowman & Littlefield Publishers.
- Torres, L. (2021). Valoración del rendimiento en taza de cafés arábicos en relación a la altitud de siembra. Jaén: Universidad Nacional de Jaén.



- Valerio, O., Vargas, G., Abarca, R., Barboza, L., & Carmona, G. (2016). *Color kinetics for roasted coffee using image analysis imagej*.  
<https://www.researchgate.net/publication/304153858>
- Vargas, L. (2022). *Taxonomía y Morfología del Café: Partes y Características*.  
<https://cafemalist.com/morfologia-del-cafe/>
- Vergara, S. (2020). *Partes del fruto de Café*. <https://www.inceptioncoffee.com/partes-del-fruto-de-cafe/>
- Vilca, R. (2014). *Evaluación de la influencia de parámetros de fermentación en la calidad sensorial del café (Coffea Arábica l.) del valle de Inambari –Sandia*.
- Villacis, P. (2016). *Comportamiento agronómico de cinco variedades de café (Coffea arábica L.), sometido a diferentes aplicaciones foliares de biol*.
- Wang, N., Fu, Y., & Lim, L. (2011). Feasibility study on chemometric discrimination of roasted arabica coffees by solvent extraction and fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 3220–3226.  
[https://doi.org/10.1021/JF104980D/SUPPL\\_FILE/JF104980D\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/JF104980D/SUPPL_FILE/JF104980D_SI_001.PDF)
- Wang, X., & Lim, L. T. (2015). Physicochemical Characteristics of Roasted Coffee. In *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 247–254). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00027-9>
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 83–91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3>
- Yüksel, A., Özkara, K., & Bayram, M. (2020). The effects of roasting, milling, brewing and storage processes on the physicochemical properties of Turkish coffee. *LWT*, 131, 109711.  
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109711>



Yusibani, E., Ikramullah, I., Yufita, E., Jalil, Z., & Suhendi, E. (2023). The Effect of Temperature and Roasting Time on The Physical Properties of Arabica and Robusta Gayo Coffee Bean. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(2), 100–108.  
<https://doi.org/10.55043/jaast.v7i2.75>



## ANEXOS

### ANEXO 1. Resultados del ANOVA y prueba de comparación de Tukey.

**Tabla 2**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo fragancia / aroma.*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tiempo de desarrollo	2	3.14583	1.57292	3.40E+02	< 2.2e-16
Temperatura	2	0.33333	0.16667	3.60E+01	2.581E-09
Altitud	1	1.26042	1.26042	2.72E+02	< 2.2e-16
Tiempo de desarrollo x Temperatura	4	0.3125	0.07813	16.875	7.074E-08
Tiempo de desarrollo x Altitud	2	0.29861	0.14931	32.25	9.429E-09
Temperatura x Altitud	2	0.19444	0.09722	21	9.031E-07
Tiempo x Temperatura x Altitud	4	0.25694	0.06424	1.39E+01	6.082E-07
Residuals	36	0.16667	0.00463		
Total	53				

**Tabla 3**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo fragancia / aroma.*

Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud	N	Media	Agrupación
T11(a2-b1-c2)	3	8.5	A
T10(a1-b1-c2)	3	8.5	A
T14(a2-b2-c2)	3	8.5	A
T16(a1-b3-c2)	3	8.5	A
T1(a1-b1-c1)	3	8.4167	A
T13(a1-b2-c2)	3	8.4167	A
T2(a2-b1-c1)	3	8	B
T4(a1-b2-c1)	3	8	B
T7(a1-b3-c1)	3	8	B
T17(a2-b3-c2)	3	8	B
T8(a2-b3-c1)	3	7.8333	BC
T18(a3-b3-c2)	3	7.8333	BC
T3(a3-b1-c1)	3	7.75	C
T5(a2-b2-c1)	3	7.75	C
T9(a3-b3-c1)	3	7.75	C
T12(a3-b1-c2)	3	7.75	C
T15(a3-b2-c2)	3	7.75	C
T6(a3-b2-c1)	3	7.5	D

**Tabla 4**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo sabor.*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	3.9329	1.96644	1.70E+03	< 2.2e-16
<b>Temperatura</b>	2	0.8495	0.42477	3.67E+02	< 2.2e-16
<b>Altitud</b>	1	0.1956	0.1956	1.69E+02	3.649E-15
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	0.6782	0.16956	146.5	< 2.2e-16
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	0.5995	0.29977	259	< 2.2e-16
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0.5579	0.27894	241	< 2.2e-16
<b>Tiempo x Temperatura x Altura</b>	4	0.4699	0.11748	1.02E+02	< 2.2e-16
<b>Residuals</b>	36	0.0417	0.00116		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 5**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo sabor.*

Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud	N	Media	Agrupacion
T2(a2-b1-c1)	3	8.5	A
T1(a3b1c2)	3	8.5	A
T4(a1-b2-c1)	3	8.5	A
T11(a2-b1-c2)	3	8.5	A
T10(a1-b1-c2)	3	8.5	A
T14(a2-b2-c2)	3	8.5	A
T13(a1-b2-c2)	3	8.5	B
T16(a3-b2-c1)	3	8.5	B
T3(a3-b1-c1)	3	8	B
T17(a2-b3-c2)	3	8	B
T7(a1-b3-c1)	3	7.9167	BC
T5(a2-b2-c1)	3	7.75	BC
T6(a3-b2-c1)	3	7.75	C
T8(a2-b3-c1)	3	7.75	C
T9(a3-b3-c1)	3	7.75	C
T15(a3-b2-c2)	3	7.75	C
T18(a3-b3-c2)	3	7.75	C
T12(a3-b1-c2)	3	7.5	D

**Tabla 6**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial sabor del atributo residual.*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	4.0579	2.02894	8.77E+02	< 2.2e-16
<b>Temperatura</b>	2	0.3079	0.15394	6.65E+01	8.156E-13
<b>Altitud</b>	1	0.375	0.375	1.62E+02	6.844E-15
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	0.1157	0.02894	12.5	1.786E-06
<b>Tiempo x Altitud</b>	2	0.5625	0.28125	121.5	< 2.2e-16
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0.0625	0.03125	13.5	0.0000422
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	0.125	0.03125	1.35E+01	8.109E-07
<b>Residuals</b>	36	0.0833	0.00231		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 7**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo sabor residual.*

Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud	N	Media	Agrupación
T10(a1-b1-c2)	3	8.5	A
T13(a3-b1-c1)	3	8.5	A
T11(a2-b1-c2)	3	8.25	B
T16(a3-b2-c1)	3	8.25	B
T2(a2-b1-c1)	3	8	C
T1(a3b1c2)	3	8	C
T4(a1-b2-c1)	3	8	C
T7(a1-b3-c1)	3	8	C
T14(a2-b2-c2)	3	8	C
T8(a2-b3-c1)	3	7.833333	D
T17(a2-b3-c2)	3	7.833333	D
T3(a3-b1-c1)	3	7.75	D
T5(a2-b2-c1)	3	7.75	D
T6(a3-b2-c1)	3	7.5	E
T9(a3-b3-c1)	3	7.5	E
T12(a3-b1-c2)	3	7.5	E
T15(a3-b2-c2)	3	7.5	E
T18(a3-b3-c2)	3	7.5	E

**Tabla 8**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo acidez.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	1.58333	0.79167	6.57E+28	< 2.2e-16
<b>Temperatura</b>	2	0.52083	0.26042	2.16E+28	< 2.2e-16
<b>Altitud</b>	1	0.26042	0.26042	2.16E+28	< 2.2e-16
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	0.35417	0.08854	7.3494E+27	< 2.2e-16
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	0.33333	0.16667	1.3834E+28	< 2.2e-16
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0.89583	0.44792	3.7179E+28	< 2.2e-16
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	0.10417	0.02604	2.16E+27	< 2.2e-16
<b>Residuals</b>	36	0	0		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 9**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo acidez.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T14(a2-b2-c2)	3	8.5	A
T13(a3-b1-c1)	3	8.5	A
T10(a1-b1-c2)	3	8.25	B
T2(a2-b1-c1)	3	8	C
T3(a3b1c2)	3	8	C
T1(a2-b2-c2)	3	8	C
T4(a1-b2-c1)	3	8	C
T7(a1-b3-c1)	3	8	C
T11(a2-b1-c2)	3	8	C
T16(a3-b2-c1)	3	8	C
T5(a2-b2-c1)	3	7.75	D
T8(a2-b3-c1)	3	7.75	D
T9(a3-b3-c1)	3	7.75	D
T12(a3-b1-c2)	3	7.75	D
T15(a3-b2-c2)	3	7.75	D
T17(a2-b3-c2)	3	7.75	D
T6(a3-b2-c1)	3	7.5	E
T18(a3-b3-c2)	3	7.5	E

**Tabla 10**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo cuerpo.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	2.30E-03	1.20E-03	0.143	0.8674
<b>Temperatura</b>	2	1.82E+00	9.11E-01	112.43	3.30E-16
<b>Altitud</b>	1	1.50E+00	1.50E+00	185.14	9.26E-16
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	9.70E-01	2.43E-01	29.929	5.28E-11
<b>Tiempo x Altitud</b>	2	2.08E-02	1.04E-02	1.286	0.2888
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	6.25E-02	3.13E-02	3.857	0.0304
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	2.08E-02	5.20E-03	0.643	0.6355
<b>Residuals</b>	36	2.92E-01	2.31E-03		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 11**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo cuerpo.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T14(a2-b2-c2)	3	8.4167	A
T15(a3-b2-c2)	3	8.25	AB
T16(a3-b2-c1)	3	8.1667	ABC
T13(a3-b1-c1)	3	8.1667	ABC
T5(a2-b2-c1)	3	8.0833	BC
T6(a3-b2-c1)	3	8	BCD
T12(a3-b1-c2)	3	8	BCD
T17(a2-b3-c2)	3	7.9167	CD
T7(a1-b3-c1)	3	7.75	DE
T4(a1-b2-c1)	3	7.75	DE
T3(a3-b1-c1)	3	7.75	DE
T18(a3-b3-c2)	3	7.75	DE
T11(a2-b1-c2)	3	7.75	DE
T10(a1-b1-c2)	3	7.75	DE
T2(a2-b1-c1)	3	7.5	EF
T1(a2-b2-c2)	3	7.5	EF
T9(a3-b3-c1)	3	7.4167	F
T8(a2-b3-c1)	3	7.4167	F



**Tabla 12**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo uniformidad.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	0.3779
<b>Temperatura</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	0.3779
<b>Altitud</b>	1	2.84E-29	2.84E-29	1	0.324
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	1.14E-28	2.84E-29	1	0.4203
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	0.3779
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	0.3779
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	1.14E-28	2.84E-29	1	0.4203
<b>Residuals</b>	36	1.02E-27	2.84E-29		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 13**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo balance.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	4.52	2.26	6.15E+30	< 2.2e-16
<b>Temperatura</b>	2	1.02	0.51	1.39E+30	< 2.2e-16
<b>Altitud</b>	1	0.01	0.01	2.84E+28	< 2.2e-16
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	0.35	0.09	2.41E+29	< 2.2e-16
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	0.02	0.01	2.84E+28	< 2.2e-16
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0.27	0.14	3.69E+29	< 2.2e-16
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	0.35	0.09	2.41E+29	< 2.2e-16
<b>Residuals</b>	36	0.00	0.00		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 14**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo balance.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T1(a2-b2-c2)	3	8.5	A
T4(a1-b2-c1)	3	8.5	A
T13(a3-b1-c1)	3	8.5	A
T16(a3-b2-c1)	3	8.5	A
T2(a2-b1-c1)	3	8.25	B
T11(a2-b1-c2)	3	8.25	B
T10(a1-b1-c2)	3	8.25	B
T3(a3-b1-c1)	3	8	C
T5(a2-b2-c1)	3	8	C
T7(a1-b3-c1)	3	8	C
T14(a2-b2-c2)	3	8	C
T8(a2-b3-c1)	3	7.75	D
T12(a2-b1-c1)	3	7.75	D
T15(a3-b2-c2)	3	7.75	D
T17(a2-b3-c2)	3	7.75	D
T6(a3-b2-c1)	3	7.5	E
T9(a3-b3-c1)	3	7.5	E
T18(a3-b3-c2)	3	7.5	E

**Tabla 15**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo Taza limpia.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Temperatura</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Altitud</b>	1	2.84E-29	2.84E-29	1	3.24E-01
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	1.14E-28	2.84E-29	1	4.20E-01
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	1.14E-28	2.84E-29	1	0.4203
<b>Residuals</b>	36	1.02E-27	2.84E-29		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 16**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo Dulzor.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Temperatura</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Altitud</b>	1	2.84E-29	2.84E-29	1	3.24E-01
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	1.14E-28	2.84E-29	1	4.20E-01
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	5.68E-29	2.84E-29	1	3.78E-01
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	1.14E-28	2.84E-29	1	0.4203
<b>Residuals</b>	36	1.02E-27	2.84E-29		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 17**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para la evaluación sensorial del atributo Puntaje del catador.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	1.18287	0.59144	2.56E+02	< 2.2e-16
<b>Temperatura</b>	2	0.22454	0.11227	4.85E+01	6.083E-11
<b>Altitud</b>	1	0.16667	0.16667	7.20E+01	4.122E-10
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	0.33102	0.08275	35.75	4.457E-12
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	0.00694	0.00347	1.5	0.2367
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0.25694	0.12847	55.5	1.004E-11
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	0.21528	0.05382	2.33E+01	1.473E-09
<b>Residuals</b>	36	0.08333	0.00231		
<b>Total</b>	53				



**Tabla 18**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del atributo puntaje del catador.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>Valor</b>	<b>groups</b>
T16(a3-b2-c1)	8.25	A
T2(a2-b1-c1)	8	B
T3(a3-b1-c1)	8	B
T1(a2-b2-c2)	8	B
T4(a1-b2-c1)	8	B
<b>T7</b> (a1-b3-c1)	8	B
T11(a2-b1-c2)	8	B
T10(a1-b1-c2)	8	B
<b>T14</b> (a2-b2-c2)	8	B
<b>T13</b> (a3-b1-c1)	8	B
<b>T17</b> (a2-b3-c2)	7.833333	C
<b>T5</b> (a2-b2-c1)	7.75	C
T8(a2-b3-c1)	7.75	C
T12(a2-b1-c1)	7.75	C
T15(a3-b2-c2)	7.75	C
<b>T18</b> (a3-b3-c2)	7.75	C
<b>T9</b> (a3-b3-c1)	7.5	D
<b>T6</b> (a3-b2-c1)	7.333333	E

**Tabla 19**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis químico Brix.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	0.08481	0.04241	15.2667	1.58E-05
<b>Temperatura</b>	2	0.39815	0.19907	71.6667	2.80E-13
<b>Altitud</b>	1	1.40167	1.40167	504.6	< 2.2e-16
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	0.04185	0.01046	3.7667	1.17E-02
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	0.08111	0.04056	14.6	2.28E-05
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0.61444	0.30722	110.6	4.25E-16
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	0.02778	0.00694	2.5	0.05959
<b>Residuals</b>	36	0.1	0.00278		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 20**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del Brix.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T17(a1-b3-c1)	3	1.3333333	A
T14(a2-b2-c2)	3	1.2666667	A
T18(a3-b3-c2)	3	1.2333333	AB
T15(a3-b2-c2)	3	1.2	AB
T16(a3-b2-c1)	3	1.1	BC
T13(a3-b1-c1)	3	1.0333333	C
T11(a2-b1-c2)	3	0.8333333	D
T1(a2-b2-c2)	3	0.8	DE
T9(a3-b3-c1)	3	0.8	DE
T12(a2-b1-c1)	3	0.8	DE
T3(a3-b1-c1)	3	0.7666667	DE
T5(a2-b2-c1)	3	0.7666667	DE
T2(a2-b1-c1)	3	0.7333333	DE
T4(a1-b2-c1)	3	0.7333333	DE
T10(a1-b1-c2)	3	0.7333333	DE
T8(a2-b3-c1)	3	0.7	DE
T6(a3-b2-c1)	3	0.6666667	E
T7(a1-b3-c1)	3	0.6666667	E

**Tabla 21**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis químico pH.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	0.4701	0.235052	34.1113	4.899E-09
<b>Temperatura</b>	2	0.19378	0.096891	14.061	0.00003071
<b>Altitud</b>	1	0.13802	0.138017	20.0293	7.37E-05
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	0.1247	0.031174	4.5241	4.60E-03
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	0.06898	0.034489	5.0051	0.01208
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0.02028	0.010139	1.4714	0.243089
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	0.02624	0.006561	0.9522	0.445409
<b>Residuals</b>	36	0.24807	0.006891		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 22**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del pH.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T6(a3-b2-c1)	3	6.53	A
T12(a2-b1-c1)	3	6.46	AB
T1(a2-b2-c2)	3	6.4	ABC
T15(a3-b2-c2)	3	6.4	ABC
T3(a3-b1-c1)	3	6.35	ABCD
T2(a2-b1-c1)	3	6.34	ABCD
T18(a3-b3-c2)	3	6.32	ABCD
T9(a3-b3-c1)	3	6.31	ABCDE
T5(a2-b2-c1)	3	6.29	ABCDE
T10(a1-b1-c2)	3	6.29	ABCDE
T8(a2-b3-c1)	3	6.233333	BCDEF
T7(a1-b3-c1)	3	6.19	CDEF
T11(a2-b1-c2)	3	6.186667	CDEF
T4(a1-b2-c1)	3	6.18	CDEF
T14(a2-b2-c2)	3	6.1	DEF
T13(a3-b1-c1)	3	6.063333	EF
T17(a1-b3-c1)	3	6.06	EF
T16(a3-b2-c1)	3	6.033333	F

**Tabla 23**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis físico Color.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	458.1	229.06	206.15	< 2.2e-16
<b>Temperatura</b>	2	3225	1612.5	1451.25	< 2.2e-16
<b>Altitud</b>	1	62.3	62.3	56.0667	7.60E-09
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	127.2	31.81	28.625	9.66E-11
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	17.1	8.57	7.7167	0.001626
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	0	0.02	0.0167	0.983479
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	13.5	3.38	3.0417	0.029379
<b>Residuals</b>	36	40	1.11		
<b>Total</b>	53				

**Tabla 24**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la puntuación del color.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T10(a1-b1-c2)	3	78.33333	A
T11(a2-b1-c2)	3	75	B
T1(a2-b2-c2)	3	74	B
T2(a2-b1-c1)	3	72	B
T3(a3-b1-c1)	3	65	C
T12(a2-b1-c1)	3	64	C
T13(a3-b1-c1)	3	59.33333	D
T4(a1-b2-c1)	3	58	DE
T14(a2-b2-c2)	3	58	DE
T16(a3-b2-c1)	3	58	DE
T5(a2-b2-c1)	3	55	EF
T7(a1-b3-c1)	3	55	EF
T15(a3-b2-c2)	3	55	EF
T17(a1-b3-c1)	3	55	EF
T6(a3-b2-c1)	3	53	FG
T8(a2-b3-c1)	3	52	FG
T18(a3-b3-c2)	3	52	FG
T9(a3-b3-c1)	3	51.33333	G

**Tabla 25**

*ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), para el análisis químico Acidez Titulable.*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Tiempo de desarrollo</b>	2	168.46	84.228	5.03E+00	0.01182
<b>Temperatura</b>	2	28.36	14.18	8.47E-01	0.43697
<b>Altitud</b>	1	14.88	14.877	8.89E-01	0.35206
<b>Tiempo de desarrollo x Temperatura</b>	4	131.88	32.971	1.9699	0.12003
<b>Tiempo de desarrollo x Altitud</b>	2	75.47	37.736	2.2546	0.11953
<b>Temperatura x Altitud</b>	2	93.45	46.724	2.7917	0.07463
<b>Tiempo x Temperatura x Altitud</b>	4	122.58	30.646	1.83E+00	0.14422
<b>Residuals</b>	36	602.54	16.737		
<b>Total</b>	53				



**Tabla 26**

*Prueba de comparación múltiple de Tukey para la presentación, Tiempo de desarrollo, Temperatura y Altitud con un nivel confianza del 95 % y una significancia de ( $p < 0.05$ ), en la acides Titulable.*

<b>Tiempo de desarrollo- Temperatura- Altitud</b>	<b>Valor</b>	<b>groups</b>
T1(a2-b2-c2)	29.525	A
T17(a1-b3-c1)	23.62	AB
T16 a3-b2-c1)	23.62	AB
T3(a3-b1-c1)	21.65167	AB
T9(a3-b3-c1)	21.65167	AB
T10(a1-b1-c2)	21.65167	AB
T5(a2-b2-c1)	19.68333	AB
T4(a1-b2-c1)	19.68333	AB
T7(a1-b3-c1)	19.68333	AB
T14(a1-b2-c1)	19.68333	AB
T13(a3-b1-c1)	19.68333	AB
T2(a2-b1-c1)	17.715	AB
T6(a3-b2-c1)	17.715	AB
T12(a2-b1-c1)	17.715	AB
T15(a3-b2-c2)	16.92767	B
T8(a2-b3-c1)	15.74667	B
T11(a2-b1-c2)	15.74667	B
T18(a3-b3-c2)	14.95933	B

ANEXO 2. Ficha de evaluación SCA.

Formato de Catación de Cafés Especiales Según Protocolo CSAA

6.00 - Bueno	7.00 - Muy Bueno	8.00 - Excelente	9.00 - Extraordinario
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Sesión: \_\_\_\_\_

Muestra	El Nivel de Tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	acidez	cuerpo Intensidad Alto Bajo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Suma
		seco Qualidades Espuma	Sabor residual	Intensidad Alto Bajo	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Defectos (subtract)	Ligero=2 Rechazo=4	
Nota: _____									
<b>Puntaje Final</b>									

Muestra	El Nivel de Tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	acidez	cuerpo Intensidad Alto Bajo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Suma
		seco Qualidades Espuma	Sabor residual	Intensidad Alto Bajo	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Defectos (subtract)	Ligero=2 Rechazo=4	
Nota: _____									
<b>Puntaje Final</b>									

Muestra	El Nivel de Tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	acidez	cuerpo Intensidad Alto Bajo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Suma
		seco Qualidades Espuma	Sabor residual	Intensidad Alto Bajo	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Defectos (subtract)	Ligero=2 Rechazo=4	
Nota: _____									
<b>Puntaje Final</b>									

Muestra	El Nivel de Tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	acidez	cuerpo Intensidad Alto Bajo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Suma
		seco Qualidades Espuma	Sabor residual	Intensidad Alto Bajo	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Total: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Defectos (subtract)	Ligero=2 Rechazo=4	
Nota: _____									
<b>Puntaje Final</b>									

### ANEXO 3. Panel fotográfico



**Figura 32** Proceso de tostado de café.



**Figura 33** Preparación de muestras de café y codificación.



**Figura 34** Proceso de molienda del café tostado.



**Figura 35** Evaluación sensorial del atributo fragancia / aroma de las muestras de café.



**Figura 36** Evaluación sensorial del atributo sabor de las muestras de café.



**Figura 37** Vertido del agua para la evaluación del atributo aroma.



**Figura 38** Evaluación sensorial de las muestras de café – catación.



**Figura 39** Proceso de tostado de muestras para catación.



**Figura 40** Preparación de muestras de café para el análisis químico y físico.



**Figura 41** Análisis de los grados Brix en las muestras extraídas de café.



**Figura 42** Determinación del color en las muestras molidas de café tostado.



**Figura 43** Análisis del pH en las muestras extraídas de café.





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Efraín Arturo Quispe Justo identificado con DNI 74733563 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agroindustrial, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación

denominada:

**“EFECTO DEL TIEMPO DE DESARROLLO Y TEMPERATURA DE TOSTADO EN LA CALIDAD SENSORIAL Y LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICA Y FÍSICA DEL CAFÉ VARIEDAD BOURBON PRODUCIDO EN ALTURA”**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno, 16 de julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Efrain Arturo Quispe Justo, identificado con DNI\_74733563, en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agroindustrial, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“EFECTO DEL TIEMPO DE DESARROLLO Y TEMPERATURA DE TOSTADO EN LA CALIDAD SENSORIAL Y LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL CAFÉ VARIEDAD BOURBON PRODUCIDO EN ALTURA”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella