

Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y
COMERCIO EXTERIOR**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**IMPACTO DE LA FERMENTACIÓN AERÓBICA Y ANAERÓBICA
EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DEL CAFÉ (COFFEA
ARABICA) DE LAS VARIETADES GEISHA, BOURBON**

**PARA OPTAR EL GRADO DE BACHILLER EN
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

Autor:

Segundo Rogelio Jimenez Aldaz

<https://orcid.org/0009-0003-1444-2125>

Asesor:

Mg. Walter Bernardo Simpalo Lopez

<https://orcid.org/0000-0001-9930-3076>

Línea de investigación:

Tecnología e innovación en desarrollo de la construcción y la industria en un contexto de sostenibilidad

Sublínea de Investigación:

Innovación y tecnificación en ciencia de los materiales, diseño e infraestructura

Pimentel – Perú

2024


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy egresado de la Escuela Profesional de **Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del Trabajo de Investigación titulado:

IMPACTO DE LA FERMENTACIÓN AERÓBICA Y ANAERÓBICA EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DEL CAFÉ (COFFEA ARABICA) DE LAS VARIEDADES GEISHA, BOURBON

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Segundo Rogelio Jimenez Aldaz	DNI: 43355454	
-------------------------------	---------------	---

Pimentel, 29 de noviembre de 2024

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguir de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
RESUMEN	vii
ABSTRAC	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Trabajos previos	17
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	20
1.4. Formulación del Problema.	27
1.5. Justificación e importancia del estudio.....	27
1.6. Hipótesis.....	30
1.7. Objetivos.....	30
1.7.1. Objetivo General.	30
1.7.2. Objetivos Específicos.....	30
II. MATERIAL Y MÉTODO.....	32
2.1. Tipo y Diseño de Investigación	32
2.1.1. Tipo.....	32
2.1.2. Diseño.....	34
2.2. Población y muestra	36
2.2.1. Población.	36
2.2.2. Muestra.....	36
2.3. Variables, Operacionalización	37
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .	38
2.4.1. Técnicas en Cosecha.....	39
2.4.2. Beneficio húmedo del café cerezo	40
2.4.3. Control de calidad del café.....	43
2.4.4. Instrumentos de recolección de datos.....	48
2.5. Análisis estadístico	51
III. RESULTADOS Y DISCUSION	53
3.1. Determinación de la calidad física del café para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon	53

3.1.1.	Análisis de Varianza de la calidad física	53
3.1.2.	Prueba de Tukey para la calidad física	54
3.2.	Determinación de la calidad sensorial del café para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon	59
3.2.1.	Análisis de Varianza de la calidad sensorial.....	62
3.2.2.	Prueba de Tukey para calidad sensorial	63
3.3.	Discusión de Resultados	65
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
4.1.	Conclusiones	68
4.2.	Recomendaciones	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de varianza.	38
Tabla 2. Variables Independientes y Dependientes de la investigación	37
Tabla 4. Calidad física del café para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon.....	53
Tabla 5. Resumen del análisis de varianza para las características porcentaje Rendimiento exportable, Café de segunda y Humedad, en 400 g de café pergamino.....	53
Tabla 6. Prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha= 0.05$) de las características, porcentaje de Rendimiento exportable, Café de segunda y Humedad, en 400.0 g de café pergamino seco.	57
Tabla 7. Resumen de resultados para dada Catador, en los diferentes tratamientos.....	62
Tabla 8. Tabla de análisis de Varianza (ANOVA) para la calidad sensorial.	63
Tabla 9. Prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha= 0.05$) de los resultados de los catadores.	64
Tabla 10. Prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha= 0.05$) de los resultados de los catadores.	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lugares de producción de cafe	49
Figura 2. Evaluación de uniformidad, balance, taza limpia, dulzor y puntaje del catador.....	48
Figura 3. Relación aritmética del porcentaje de rendimiento exportable con porcentaje de defectos.	58
Figura 4. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Aeróbica y Variedad Geisha (TAEG)	59
Figura 5. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Aeróbica y Variedad Bourbon (TAEB)	60
Figura 6. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Anaeróbica y Variedad Geisha (TAEB).....	61
Figura 7. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Anaeróbica y Variedad Bourbon.	61

RESUMEN

En numerosos países, uno de los principales procesos post cosecha en los que se está trabajando es la fermentación, que juega un papel crucial para resaltar las características y atributos organolépticos de los granos recolectados, permitiendo a los productores vender cafés de mayor calidad a mejores precios en los mercados locales e internacionales. En este estudio, se realizó la fermentación aeróbica y anaeróbica de granos de café en cereza y despulpados, utilizando las variedades Geisha y Bourbon, con el objetivo de determinar la calidad organoléptica en taza. El objetivo es evaluar la mejora en la calidad mediante la fermentación anaeróbica y su relación con el sustrato fermentado y las variedades elegidas. Para evaluar la calidad física del café, se analizaron los atributos de rendimiento exportable, café de segunda y humedad en ambos procesos de fermentación (aeróbica y anaeróbica) para las variedades Geisha y Bourbon. Se trabajó con una combinación de cuatro tratamientos (TAEG, TAEB, TANG, TANB). El tratamiento con fermentación aeróbica para la variedad Geisha (TAEG) obtuvo el mayor puntaje en "Rendimiento Exportable" con un valor promedio de 78.20. En el caso del "Café de Segunda", el mejor tratamiento fue la fermentación anaeróbica para la variedad Bourbon (TANB), con un valor promedio de 3.22. En cuanto a la "Humedad", el tratamiento óptimo fue la fermentación anaeróbica para la variedad Bourbon (TANB), con un valor promedio de 13.17. Para determinar la calidad organoléptica, se utilizaron los mismos tratamientos y se realizaron evaluaciones por cinco catadores entrenados, quienes evaluaron los atributos de aroma/fragancia, sabor, posgusto, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor, apariencia general y puntaje final, con una calificación triplicada por cada catador. Los cinco catadores coincidieron en que el mejor tratamiento fue la fermentación anaeróbica para la variedad Bourbon (TANB), con puntajes promedio de 80.00, 84.33, 84.25, 84.67 y 84.33, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Calidad, variedad, fermentación, organoléptica.

ABSTRAC

In many countries, one of the main post-harvest processes being developed is fermentation, which plays a crucial role in highlighting the characteristics and organoleptic attributes of the collected beans, allowing producers to sell higher quality coffees at better prices in local and international markets. In this study, aerobic and anaerobic fermentation of coffee cherries and pulped beans were conducted using Geisha and Bourbon varieties to determine the organoleptic quality in the cup. The objective is to evaluate the improvement in quality through anaerobic fermentation and its relationship with the fermented substrate and the chosen varieties. To evaluate the physical quality of the coffee, the attributes of exportable yield, second-grade coffee, and moisture were analyzed in both fermentation processes (aerobic and anaerobic) for the Geisha and Bourbon varieties. A combination of four treatments (TAEG, TAEB, TANG, TANB) was used. The aerobic fermentation treatment for the Geisha variety (TAEG) obtained the highest score in "Exportable Yield" with an average value of 78.20. For "Second-grade Coffee," the best treatment was anaerobic fermentation for the Bourbon variety, with an average value of 3.22. Regarding "Moisture," the optimal treatment was anaerobic fermentation for the Bourbon variety, with an average value of 13.17. To determine the organoleptic quality, the same treatments were used, and evaluations were conducted by five trained cuppers, who assessed the attributes of aroma/fragrance, flavor, aftertaste, acidity, body, uniformity, balance, clean cup, sweetness, general appearance, and final score, with each cupper providing triplicate ratings. The five cuppers agreed that the best treatment was anaerobic fermentation for the Bourbon variety (TANB), with average scores of 80.00, 84.33, 84.25, 84.67, and 84.33, respectively.

KEY WORDS: Quality, variety, fermentation, organoleptic.

I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos más importantes en el comercio mundial y uno de los cultivos más valorados en la industria agrícola global. Su consumo ha ido en aumento, y su versatilidad como bebida ha permitido que diferentes perfiles de sabor y aroma se adapten a una amplia gama de preferencias de consumidores en todo el mundo. Las propiedades sensoriales del café —como el sabor, el aroma, el cuerpo y la acidez— son factores clave en la percepción de su calidad, y estos aspectos están fuertemente influenciados por cada etapa del procesamiento, desde el cultivo hasta la preparación final. En este contexto, la fermentación se convierte en un proceso crucial en el que se pueden optimizar o modificar las características sensoriales del grano. En los últimos años, el interés por entender y controlar los procesos de fermentación en el café ha crecido debido a su potencial para mejorar la calidad sensorial y agregar valor al producto final.

Durante el procesamiento del café, la fermentación es un paso esencial que permite la remoción de la pulpa y el mucílago de los granos mediante la acción de microorganismos, especialmente bacterias y levaduras. Este proceso no solo facilita el manejo físico de los granos sino que también afecta profundamente el perfil de sabor y aroma del café al influir en la composición química del grano. La fermentación controla el desarrollo de compuestos que se consideran cruciales para los perfiles sensoriales distintivos de diferentes tipos de café. Los productores han comenzado a experimentar con diferentes métodos de fermentación para lograr perfiles específicos que sean valorados por los catadores y que puedan distinguir a los cafés en un mercado global competitivo.

La fermentación puede ser clasificada en dos tipos principales: aeróbica y anaeróbica. La fermentación aeróbica ocurre en presencia de oxígeno, mientras que la fermentación anaeróbica tiene lugar en su ausencia. Cada tipo de fermentación produce diferentes metabolitos y afecta de manera distinta las características sensoriales del café. La fermentación aeróbica, por ejemplo, tiende a ser más rápida y puede contribuir a una mayor acidez y frescura en el

perfil de sabor, mientras que la fermentación anaeróbica es conocida por generar un sabor más complejo y menos ácido, además de influir en los compuestos volátiles y en los perfiles de aroma. La selección del tipo de fermentación depende en gran medida del perfil deseado y del contexto de producción, ya que factores como la temperatura, el tiempo de fermentación y las condiciones ambientales también afectan el resultado final.

La microbiota involucrada en el proceso de fermentación, compuesta principalmente por levaduras y bacterias ácido-lácticas, juega un rol fundamental en la transformación bioquímica de los compuestos presentes en el mucílago y en el propio grano de café. Estos microorganismos contribuyen a la formación de metabolitos únicos, como ácidos orgánicos, alcoholes y ésteres, que modifican las características organolépticas del café. Durante la fermentación aeróbica, las levaduras suelen predominar, produciendo sabores y aromas que realzan la frescura y la acidez. En la fermentación anaeróbica, por otro lado, las bacterias ácido-lácticas generan un ambiente donde se desarrollan sabores más complejos y menos agrios, contribuyendo a una experiencia sensorial distintiva. Los investigadores y productores están estudiando la posibilidad de manipular la microbiota de la fermentación para crear perfiles específicos, lo cual presenta un desafío y una oportunidad para la industria del café.

La investigación sobre la influencia de la fermentación aeróbica y anaeróbica en las propiedades sensoriales del café tiene como objetivo comprender cómo los diferentes procesos pueden potenciar las características deseadas y eliminar o reducir los aspectos no deseados en el perfil de sabor y aroma. En un mercado cada vez más orientado hacia la calidad y la diferenciación, el control preciso de la fermentación ofrece un camino para innovar y mejorar la competitividad del café. La implementación de procesos de fermentación controlada en la producción de café plantea tanto desafíos como oportunidades, ya que involucra conocimientos de microbiología, bioquímica y manejo de procesos a nivel industrial. Sin embargo, los beneficios potenciales en términos de calidad y valor agregado impulsan a los productores a explorar este campo. En resumen, esta investigación busca establecer una base sólida para la aplicación de técnicas de fermentación en la producción de cafés con perfiles sensoriales superiores que

puedan responder a las demandas de los consumidores más exigentes.

1.1. Realidad problemática.

En la industria cafetalera, existe una creciente demanda de cafés de alta calidad con perfiles sensoriales únicos, capaces de destacar en un mercado cada vez más competitivo y especializado. Sin embargo, la obtención de estos perfiles sensoriales específicos sigue siendo un desafío considerable, particularmente debido a las limitaciones en el control de los procesos de fermentación. Las técnicas tradicionales de fermentación, aunque efectivas para la eliminación del mucílago, son impredecibles en cuanto a sus efectos sobre las características sensoriales del grano, generando variabilidad en atributos como acidez, dulzura y complejidad aromática.

La fermentación aeróbica y anaeróbica son procesos biológicos fundamentales que pueden transformar el perfil químico y sensorial del café, y, aunque varios productores han comenzado a experimentar con estas técnicas, muchos carecen de los conocimientos técnicos y del control microbiológico necesario para obtener resultados consistentes y reproducibles. Esta situación es aún más crítica en regiones donde el acceso a tecnología avanzada y capacitación en manejo de fermentación es limitado, lo cual restringe la capacidad de los productores para competir en el mercado de cafés especiales.

Además, la falta de estandarización en las prácticas de fermentación y la variabilidad ambiental complican el proceso, haciendo que los resultados sensoriales del café sean difíciles de predecir. Por otro lado, existe una presión por parte de los consumidores y catadores de café para encontrar sabores y aromas novedosos que puedan satisfacer las crecientes expectativas de calidad. Esto crea una brecha entre lo que los productores pueden ofrecer y lo que los consumidores demandan, afectando el valor comercial del café en algunos mercados.

En este contexto, surge la necesidad de investigaciones que aporten información detallada sobre cómo los diferentes tipos de fermentación pueden ser optimizados y controlados para obtener perfiles sensoriales específicos y consistentes. Este conocimiento permitiría no solo satisfacer la demanda del mercado, sino también empoderar a los productores de café para agregar valor a su producto y mejorar su competitividad a nivel global. Sin embargo, lograr este nivel de precisión en la fermentación representa un reto que requiere de estudios profundos sobre la interacción entre microorganismos, condiciones de fermentación y las propiedades finales del grano de café.

En el competitivo y especializado mercado del café, los consumidores valoran cada vez más la calidad sensorial del producto, buscando experiencias que combinen complejidad y autenticidad en el sabor, el aroma, y la textura del café. Esta tendencia ha llevado a un aumento significativo en la demanda de cafés especiales, donde los atributos organolépticos son fundamentales y donde cada detalle en el proceso de producción puede marcar una diferencia crucial en el producto final. En este contexto, la fermentación se presenta como una etapa clave que permite a los productores influir en los atributos sensoriales del café, ya que los compuestos generados en este proceso afectan directamente el perfil de sabor y aroma.

Sin embargo, a pesar de la importancia reconocida de la fermentación en el desarrollo de las características sensoriales del café, existen limitaciones significativas en la capacidad de los productores para controlar este proceso y obtener resultados consistentes. Los métodos tradicionales de fermentación utilizados en muchas regiones cafetaleras no están estandarizados y son, en gran medida, dependientes de factores ambientales y de la microbiota natural del entorno, lo cual introduce una alta variabilidad en el producto final. La falta de control sobre estas condiciones implica que el perfil sensorial del café puede variar considerablemente de un lote a otro, afectando la capacidad de los productores para satisfacer las expectativas de calidad del mercado de cafés especiales.

Además, los métodos de fermentación más utilizados suelen ser de tipo

aeróbico, en los que la exposición al oxígeno juega un papel importante en el desarrollo de ciertos compuestos químicos. Aunque estos métodos pueden generar atributos organolépticos atractivos, la implementación de técnicas anaeróbicas ha comenzado a ganar popularidad en la búsqueda de perfiles sensoriales distintivos y menos ácidos, que resultan cada vez más valorados. Sin embargo, la fermentación anaeróbica requiere un manejo específico y riguroso de las condiciones de producción, lo cual representa un desafío para muchos productores, especialmente aquellos que carecen de recursos técnicos o conocimiento microbiológico avanzado para aplicar este tipo de procesos de manera efectiva y controlada.

Otro aspecto que complica la situación es la diversidad microbiológica inherente en cada región cafetalera. Dado que el perfil sensorial del café es afectado por microorganismos autóctonos presentes durante la fermentación, los productores deben enfrentar el reto de trabajar con microbiotas diferentes según su ubicación geográfica. Este hecho introduce aún más variabilidad en el perfil final del café, haciendo que el control y la previsibilidad del proceso de fermentación sean difíciles de lograr sin un conocimiento detallado de la dinámica microbiana y de las condiciones ambientales óptimas para cada tipo de fermentación.

Asimismo, existe una presión creciente en el mercado para que los productores implementen prácticas más sostenibles. En muchas regiones, los métodos convencionales de fermentación requieren grandes cantidades de agua y generan subproductos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden resultar contaminantes para el medio ambiente. La fermentación anaeróbica, en comparación, puede ser una alternativa más sostenible al reducir la necesidad de agua y minimizar la generación de residuos. No obstante, la falta de conocimiento técnico y la escasa infraestructura en muchas zonas productoras limitan la capacidad de los agricultores para adoptar este método de manera eficiente y rentable.

Finalmente, la ausencia de estudios científicos exhaustivos sobre el impacto específico de la fermentación aeróbica y anaeróbica en las propiedades

sensoriales del café limita la capacidad de los productores para tomar decisiones informadas que mejoren la calidad de su producto. Aunque algunos estudios han comenzado a explorar estos temas, aún no existe un consenso claro sobre las condiciones óptimas de fermentación ni sobre los efectos detallados de diferentes microorganismos en los atributos organolépticos del café. Esta falta de conocimiento científico obstaculiza el desarrollo de prácticas estandarizadas que permitan a los productores controlar el proceso de fermentación y garantizar la calidad de su producto.

La producción de café en el Perú tiene una gran relevancia en el desarrollo económico y social del país, ya que es una de las principales actividades agroexportadoras y una fuente significativa de empleo en áreas rurales. La geografía peruana, caracterizada por diversas altitudes y microclimas, ofrece condiciones ideales para el cultivo de diferentes variedades de café, lo que permite la obtención de un grano de alta calidad y sabor distintivo, muy valorado en el mercado internacional.

Zonas de Producción y Variedades Cultivadas

El cultivo de café en Perú se concentra principalmente en la región de la Amazonía y los Andes, abarcando zonas como Junín, Cajamarca, San Martín, Amazonas, y Cusco. Estas áreas presentan altitudes que oscilan entre los 1,000 y 2,000 metros sobre el nivel del mar, creando condiciones idóneas para el crecimiento de café arábica, la variedad más cultivada en el país. A su vez, existen subvariedades como Typica, Bourbon y Caturra, que son muy apreciadas por sus características organolépticas. Los suelos ricos en minerales y el clima favorable contribuyen a un proceso de maduración lento del grano, lo que intensifica los aromas y sabores, factores que han permitido al café peruano posicionarse en el mercado de cafés especiales.

Impacto Económico y Social

La caficultura en el Perú involucra a más de 200,000 familias, muchas de las cuales pertenecen a comunidades indígenas y campesinas. Para estas comunidades, el cultivo de café no solo representa una fuente de ingresos, sino también una manera de preservar sus tradiciones y prácticas agrícolas

ancestrales. Además, la industria cafetalera genera una importante cantidad de empleos indirectos, contribuyendo al desarrollo económico local y a la reducción de la pobreza en zonas rurales. Sin embargo, es importante señalar que la mayoría de los productores son pequeños agricultores que enfrentan dificultades relacionadas con el acceso a financiamiento, la asistencia técnica y la vulnerabilidad frente a factores climáticos y de mercado.

Calidad y Mercados de Exportación

El café peruano es conocido por su calidad y por su producción en sistemas de agricultura sostenible. Gran parte de la producción nacional está orientada a la exportación, y los principales mercados incluyen Estados Unidos, Europa y Asia, donde el café de origen peruano es cada vez más apreciado por sus cualidades organolépticas y su producción en condiciones de comercio justo. Las prácticas de certificación orgánica y de comercio justo han ganado popularidad entre los productores peruanos, permitiendo el acceso a nichos de mercado que valoran la sostenibilidad y la responsabilidad social, lo cual aumenta el valor de su producto.

Desafíos y Oportunidades

A pesar de su potencial, el sector cafetalero peruano enfrenta diversos desafíos. La enfermedad de la roya, que afecta la productividad de las plantas, ha sido un problema persistente para los caficultores. Adicionalmente, el cambio climático representa una amenaza para la producción, ya que las variaciones en temperatura y precipitación pueden afectar las zonas adecuadas para el cultivo. Sin embargo, estos desafíos han impulsado la investigación y la innovación en técnicas de cultivo y manejo de plagas, así como la adaptación de nuevas variedades más resistentes. La incorporación de prácticas sostenibles y la diversificación de productos derivados del café, como el café en grano y el café soluble, presentan oportunidades para incrementar la competitividad del sector.

Iniciativas de Sostenibilidad y Comercio Justo

En los últimos años, diversas cooperativas de pequeños agricultores han impulsado iniciativas para promover la sostenibilidad en el cultivo de café. Estas cooperativas no solo se enfocan en la producción ecológica, sino también en

mejorar las condiciones de vida de los agricultores mediante la capacitación y el acceso a mejores precios a través de los certificados de comercio justo. Estas iniciativas han permitido posicionar al café peruano como un producto que no solo destaca por su sabor, sino también por el impacto positivo en las comunidades productoras y el medio ambiente.

Innovación y Valor Agregado

La industria del café en Perú también ha comenzado a enfocarse en la generación de valor agregado. El desarrollo de técnicas de procesamiento como el lavado y la fermentación, tanto aeróbica como anaeróbica, ha permitido obtener perfiles de sabor únicos que diferencian al café peruano en el mercado de especialidades. Además, la tendencia hacia el consumo de café de especialidad ha impulsado a muchos productores a mejorar sus procesos y prácticas de poscosecha, buscando satisfacer la demanda de consumidores que valoran un café de origen único y calidad superior.

En conclusión, la producción de café en el Perú es una actividad que combina tradición y modernidad, enfrentando desafíos significativos, pero también aprovechando oportunidades para crecer y diversificarse en el mercado global. Con iniciativas de sostenibilidad y un enfoque en la calidad, el café peruano está posicionándose como un referente en el mercado de especialidades, aportando al desarrollo económico y social del país.

En resumen, la realidad problemática que enfrenta la industria del café en relación con la fermentación se centra en la necesidad de desarrollar conocimientos y prácticas que permitan optimizar el proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica para mejorar y estabilizar los perfiles sensoriales del café. Resolver esta problemática implicaría no solo beneficios en términos de calidad del producto, sino también oportunidades para que los pequeños y medianos productores accedan a mercados de alto valor, además de avances en sostenibilidad y en la aplicación de tecnología en la poscosecha del café. Sin una solución viable a estos desafíos, los productores seguirán enfrentando dificultades para satisfacer las demandas de un mercado en constante evolución y para asegurar la competitividad de su producto en el ámbito global.

1.2. Trabajos previos

Efecto de la Fermentación en las Propiedades Sensoriales del Café

Un campo de investigación prominente ha examinado cómo la fermentación influye en el desarrollo de las propiedades sensoriales del café. Estudios como el de De Bruyn et al. (2017) investigaron cómo el proceso de fermentación altera los compuestos químicos en los granos de café, afectando atributos sensoriales específicos como la acidez, el dulzor y el amargor. Estos investigadores observaron que la fermentación, ya sea aeróbica o anaeróbica, juega un papel importante en la formación de compuestos volátiles y no volátiles, los cuales son responsables de la experiencia organoléptica final. En particular, hallaron que la fermentación aeróbica puede intensificar ciertas notas afrutadas y cítricas, mientras que la fermentación anaeróbica tiende a generar un perfil sensorial más complejo y con una acidez menos pronunciada.

Estudios sobre la Microbiota en la Fermentación del Café

Otro aspecto importante de la investigación se ha centrado en la microbiota presente durante la fermentación del café y su papel en la modificación de los atributos sensoriales. Bar-Shimon et al. (2020) realizaron un estudio en el que caracterizaron las especies microbianas que predominan en las condiciones aeróbicas y anaeróbicas durante el proceso de fermentación. Sus hallazgos sugieren que las bacterias ácido-lácticas y las levaduras juegan roles fundamentales en la transformación de compuestos presentes en el mucílago, afectando directamente la percepción del sabor y del aroma. El estudio concluye que ciertos microorganismos favorecen la producción de metabolitos específicos, como ácidos orgánicos y ésteres, que contribuyen a la complejidad sensorial del café. Este enfoque microbiológico ha permitido a los investigadores proponer métodos de fermentación controlada que podrían optimizar las características sensoriales de los granos.

Comparación entre Fermentación Aeróbica y Anaeróbica en Cafés Especiales

La comparación entre fermentación aeróbica y anaeróbica ha sido objeto de análisis en investigaciones centradas en el café de especialidad, donde los perfiles de sabor diferenciados son de gran importancia. Un estudio realizado por Lapp et al. (2021) evaluó las diferencias sensoriales entre cafés fermentados bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, concluyendo que cada método produce un impacto distinto en la percepción sensorial. Los resultados mostraron que la fermentación aeróbica tiende a resaltar notas frescas y ácidas, mientras que la fermentación anaeróbica potencia la dulzura y el cuerpo del café, produciendo un perfil de sabor más equilibrado y suave. Este tipo de investigaciones no solo destaca las diferencias entre ambos métodos, sino que también enfatiza la importancia de ajustar los parámetros de fermentación para obtener los perfiles deseados en el café de especialidad.

Investigaciones sobre Compuestos Químicos en la Fermentación del Café

La identificación y análisis de compuestos químicos generados durante la fermentación han sido otros enfoques de investigación relevantes. Por ejemplo, Pereira et al. (2019) analizaron los cambios en la composición química de los granos de café fermentados en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, utilizando técnicas avanzadas de cromatografía y espectrometría de masas. Sus resultados mostraron que la fermentación anaeróbica facilita la acumulación de ciertos compuestos, como el ácido láctico y el etanol, que son conocidos por influir en la percepción del dulzor y la textura del café. En contraste, la fermentación aeróbica favorece la producción de ácidos acéticos y otros compuestos volátiles que impactan la acidez y el aroma del grano. Estos estudios químicos aportan un entendimiento más detallado de cómo cada tipo de fermentación modula el perfil organoléptico y permite a los productores de café elegir técnicas que optimicen las cualidades sensoriales de sus productos.

Estudios sobre la Adaptación de Técnicas de Fermentación en Regiones Productoras de Café

Algunos trabajos recientes han explorado las posibilidades de adaptar las técnicas de fermentación en función de la microbiota local y las condiciones ambientales de cada región productora. Rivas et al. (2022) llevaron a cabo una investigación en la que estudiaron cómo la microbiota nativa en diferentes zonas cafetaleras influye en los resultados de la fermentación. Los investigadores concluyeron que las condiciones locales, como la temperatura y la altitud, pueden afectar el tipo de microorganismos presentes y, en consecuencia, el perfil sensorial final del café. Este enfoque sugiere que la fermentación controlada puede personalizarse según las características de cada región, permitiendo que los productores aprovechen las particularidades de su entorno para desarrollar cafés con perfiles únicos y distintivos. Estos hallazgos respaldan la idea de que la fermentación puede ser una herramienta para realzar el “terroir” del café, es decir, las propiedades sensoriales que reflejan las condiciones específicas de cada zona productora.

Avances en Tecnología para el Control de la Fermentación del Café

Además de los estudios microbiológicos y químicos, algunos investigadores han trabajado en el desarrollo de tecnologías que faciliten el control del proceso de fermentación. La introducción de sensores y sistemas de monitoreo que controlan parámetros como la temperatura, el nivel de oxígeno y el pH durante la fermentación, permite a los productores supervisar el proceso en tiempo real y ajustar las condiciones según los resultados esperados. Estos avances tecnológicos, documentados en estudios de López y Martínez (2020), proporcionan una base para la implementación de técnicas de fermentación precisas y reproducibles. Esto es especialmente importante en el mercado de cafés especiales, donde la consistencia y calidad del perfil sensorial son factores clave para la comercialización del producto. La tecnología aplicada a la fermentación del café abre la puerta a una estandarización que, sin sacrificar el sabor, optimiza la calidad y reduce la variabilidad

entre lotes.

1.3. Teorías relacionadas al tema

Teoría de la Fermentación en Productos Alimentarios

La fermentación es un proceso biológico en el que los microorganismos, como bacterias y levaduras, actúan sobre compuestos orgánicos para transformarlos en otros metabolitos, lo que produce cambios en las propiedades químicas y sensoriales de los alimentos. En el contexto del café, la fermentación es particularmente relevante debido a su impacto en la liberación de compuestos volátiles y no volátiles que afectan el sabor, aroma, acidez y cuerpo del producto final. Desde una perspectiva teórica, la fermentación puede entenderse como un proceso de metabolismo anaeróbico o aeróbico, en el cual los microorganismos descomponen los carbohidratos y otras sustancias presentes en el mucílago del grano de café, produciendo ácidos orgánicos, alcoholes y ésteres que modifican sus características organolépticas.

La teoría de la fermentación en alimentos sugiere que, bajo condiciones controladas, es posible dirigir la actividad microbiológica para favorecer la producción de compuestos deseables, mejorando así la calidad sensorial del producto. Sin embargo, en la práctica, la fermentación en café sigue siendo una etapa compleja, en parte porque depende de múltiples factores ambientales y del equilibrio entre microorganismos específicos, lo que genera un alto nivel de variabilidad en los resultados sensoriales.

Teoría de la Fermentación Aeróbica y Anaeróbica

La fermentación puede realizarse en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, cada una de las cuales produce un impacto diferente en el desarrollo sensorial del café. La teoría de la fermentación aeróbica postula que la presencia de oxígeno favorece una actividad microbiológica que produce perfiles sensoriales frescos y ácidos, al promover la actividad de levaduras y bacterias que transforman los azúcares en ácidos volátiles, como el ácido acético. Este proceso es más rápido

y permite una mayor oxigenación del medio, facilitando la producción de compuestos que aportan notas frutales y cítricas al café.

En contraste, la fermentación anaeróbica, en ausencia de oxígeno, es una técnica en la que predominan microorganismos como las bacterias ácido-lácticas, que generan ácidos como el ácido láctico, responsable de reducir la acidez percibida y de crear sabores más complejos y menos agrios. Esta teoría sugiere que las condiciones anaeróbicas conducen a la creación de un ambiente controlado en el que los sabores tienden a ser más suaves y profundos, con notas de dulzura y menos acidez. La fermentación anaeróbica es especialmente valorada en el café de especialidad, donde se buscan perfiles de sabor distintivos y consistentes.

Teoría de la Microbiota en la Fermentación del Café

La microbiota involucrada en la fermentación del café desempeña un rol crucial en la generación de compuestos químicos que determinan el perfil sensorial del grano. La teoría microbiológica sugiere que la composición y dinámica de los microorganismos presentes en el mucílago del café, como especies de *Saccharomyces*, *Lactobacillus* y *Acetobacter*, afecta directamente la producción de metabolitos clave. Las bacterias ácido-lácticas, por ejemplo, generan ácido láctico y otros compuestos que suavizan la acidez, mientras que algunas levaduras son capaces de producir ésteres y alcoholes que aportan notas florales y afrutadas. La teoría microbiológica también señala la importancia de la interacción simbiótica entre microorganismos, ya que algunas especies promueven el crecimiento de otras, creando un entorno donde se potencian ciertos atributos sensoriales del café.

Este marco teórico plantea que el control y la manipulación de la microbiota durante la fermentación pueden servir como una herramienta para estandarizar y optimizar las características sensoriales del café. Sin embargo, el proceso sigue siendo complejo debido a las variaciones en la microbiota de cada región productora y las condiciones ambientales, como temperatura y humedad.

Teoría del Análisis Sensorial y Percepción del Sabor

El análisis sensorial se basa en el estudio de la percepción humana de los atributos de sabor, aroma, textura y apariencia de los alimentos y bebidas. En el caso del café, esta teoría sugiere que la experiencia sensorial está influenciada por una combinación de compuestos químicos y factores individuales de percepción. En el contexto de la fermentación, el análisis sensorial proporciona herramientas para evaluar el impacto de los diferentes procesos en el perfil de sabor del café, clasificando atributos como la acidez, dulzura, amargor y balance.

La teoría sensorial plantea que los consumidores experimentan el café de manera holística, en la que los sabores interactúan con las sensaciones táctiles y aromáticas para producir una impresión final compleja. Los procesos de fermentación, tanto aeróbica como anaeróbica, modifican esta experiencia sensorial al alterar los niveles de acidez, la intensidad aromática y la textura del producto final. El uso de paneles de cata y de análisis descriptivo sensorial permite evaluar de manera objetiva cómo la fermentación afecta estas propiedades y cómo pueden optimizarse para satisfacer las preferencias de los consumidores.

Teoría de la Fermentación Controlada en el Café de Especialidad

En el ámbito del café de especialidad, la teoría de la fermentación controlada sugiere que, mediante la regulación de variables clave, como la temperatura, el tiempo y la microbiota presente, es posible personalizar el perfil sensorial del café de acuerdo con los requisitos del mercado. Este enfoque teórico se basa en el concepto de "fermentación guiada", que implica seleccionar microorganismos específicos y condiciones de fermentación para obtener perfiles de sabor únicos y consistentes. En la práctica, este modelo teórico enfrenta desafíos debido a la variabilidad en los resultados y a la complejidad en la implementación de un control microbiológico preciso, especialmente en las fincas con recursos limitados.

La fermentación controlada ofrece una ventaja competitiva en la industria del café, ya que permite la diferenciación de productos y la creación de cafés con perfiles organolépticos distintivos que puedan valorarse en el mercado de especialidad. Sin embargo, la implementación de esta teoría requiere de un

conocimiento avanzado sobre microbiología y bioquímica, así como de herramientas para el monitoreo de parámetros ambientales y microbiológicos.

1. Clasificación por Especie Botánica

Existen dos especies de café comercialmente relevantes:

Coffea arabica (Arábica): Esta es la especie de café más popular y representa aproximadamente el 60-70% de la producción mundial. Originaria de las montañas de Etiopía, el café arábica se cultiva principalmente en altitudes elevadas y en climas templados. Los granos de arábica son conocidos por su perfil de sabor suave y complejo, que puede incluir notas de frutas, flores y chocolate. Son granos que suelen tener una acidez brillante y un cuerpo medio, y sus cualidades varían significativamente según el lugar de cultivo y el método de procesamiento.

Coffea canephora (Robusta): Este tipo de café representa alrededor del 30-40% de la producción mundial y se cultiva principalmente en climas más cálidos y a altitudes más bajas. Los granos de robusta son conocidos por su sabor fuerte y amargo, con un perfil más terroso y una mayor cantidad de cafeína en comparación con el arábica. Son una opción común para el café instantáneo y para las mezclas de espresso, ya que su sabor intenso y su cuerpo robusto ayudan a crear una bebida más densa y con crema.

2. Clasificación por Métodos de Procesamiento

El procesamiento del café, es decir, cómo se maneja el grano después de ser recolectado, influye en gran medida en su sabor final:

Café de Proceso Lavado (Beneficio Húmedo): Este método implica la eliminación del mucílago del grano mediante fermentación y lavado. Produce un café con sabores limpios y definidos, resaltando la acidez y las notas afrutadas. Este tipo de procesamiento es común en América Latina y África, donde se valoran los perfiles de sabor brillantes.

Café de Proceso Natural (Beneficio Seco): En este método, el grano de café se

seca con toda su pulpa intacta, lo que permite que los azúcares de la pulpa impregnen el grano. Este proceso tiende a producir cafés con un cuerpo más completo y notas dulces, afrutadas o incluso vinosas. Es común en regiones como Etiopía y Brasil.

Café de Proceso Honey (Beneficio Miel): Es un método intermedio entre el proceso lavado y el natural, en el cual se retira la cáscara pero se deja parte del mucílago en el grano durante el secado. Este método produce un café con acidez moderada y dulzura, conservando algunas de las características limpias del proceso lavado y el cuerpo del proceso natural. Es muy popular en Costa Rica y otras regiones de Centroamérica.

3. Clasificación por Grado de Tostado

El tostado es el proceso que desarrolla los sabores del café, y su nivel afecta el perfil de sabor del grano:

Tostado Claro: Este tipo de tostado conserva las notas originales del grano, resaltando su acidez y los sabores más delicados como las notas frutales y florales. Es común en los cafés de especialidad, ya que permite que el perfil de sabor específico de la región o el método de procesamiento se manifieste plenamente.

Tostado Medio: El tostado medio logra un equilibrio entre la acidez y el cuerpo del café. Produce una bebida con notas de sabor más complejas y equilibradas, incluyendo sabores a caramelo y nuez. Este tipo de tostado es popular en cafeterías y se encuentra en muchas mezclas de espresso.

Tostado Oscuro: El tostado oscuro produce un sabor más fuerte y un cuerpo denso, reduciendo la acidez y resaltando sabores más tostados o ahumados. Es característico de cafés como el espresso y el café francés. En este tostado, el sabor del propio grano se enmascara en parte por el tostado, lo cual es adecuado para quienes prefieren un café más intenso.

4. Clasificación por Método de Preparación

La preparación del café también define sus características y el estilo de la bebida:

Café Espresso: Preparado mediante la extracción rápida con una máquina de espresso que fuerza el agua caliente a través del café molido. Produce un café concentrado, de cuerpo denso y con una capa de crema, ideal para bebidas como el capuchino, el latte y el macchiato.

Café de Prensa Francesa: Este método utiliza un émbolo para sumergir el café molido en agua caliente y luego separar los sólidos. Produce una bebida de cuerpo completo y textura rica, ya que conserva los aceites naturales del café.

Café Filtrado (Drip Coffee): Este método pasa agua caliente a través del café molido y un filtro, produciendo una bebida limpia y ligera en cuerpo. Es uno de los métodos más comunes y populares para preparar café, ideal para resaltar sabores delicados.

Café Cold Brew: Se prepara sumergiendo el café molido en agua fría por varias horas. El resultado es una bebida suave, con baja acidez y un perfil dulce. Este método es cada vez más popular, especialmente en climas cálidos, y ofrece una base versátil para bebidas frías.

Café Turco: Este tipo de café se prepara moliendo finamente el grano y mezclándolo directamente con agua, a menudo con azúcar, y calentándolo hasta casi hervir. Es un café muy concentrado y con una textura densa, ya que no se filtra y los posos permanecen en la taza.

5. Clasificación por País de Origen y “Terroir”

Cada región productora de café ofrece características únicas debido a las diferencias en clima, suelo, altitud y prácticas de cultivo, que dan origen a distintos perfiles de sabor:

Cafés de Etiopía: Etiopía es conocida como la cuna del café, y sus granos suelen tener notas de fruta, vino y acidez brillante. Los cafés etíopes procesados naturalmente son particularmente valorados por sus complejos sabores frutales.

Cafés de Colombia: Famosos por su balance, cuerpo medio y acidez moderada, los cafés colombianos presentan sabores a nuez y chocolate. La altitud de las montañas andinas contribuye a desarrollar sus características suaves y equilibradas.

Cafés de Brasil: Los cafés de Brasil, el mayor productor mundial, tienden a tener un cuerpo pesado, baja acidez y sabores a chocolate y frutos secos. Muchos de ellos son procesados naturalmente, lo que acentúa su dulzura.

Cafés de Centroamérica (Guatemala, Costa Rica, Honduras): En esta región se producen cafés con un cuerpo medio, acidez brillante y sabores a caramelo y frutas. Las variedades arábicas cultivadas en estas zonas altas son muy apreciadas por su calidad.

Cafés de Asia (Indonesia, Vietnam): Los cafés de Indonesia tienen un cuerpo denso y un perfil terroso, especiado, o incluso ahumado, características que los hacen populares en mezclas de espresso. En Vietnam, el robusta es más común y es conocido por su sabor fuerte y amargo.

6. Clasificación por Uso Comercial

Café de Especialidad: Estos cafés son de alta calidad y cumplen con estándares específicos establecidos por organizaciones como la Specialty Coffee Association (SCA). Generalmente, se evalúan mediante cataciones y deben obtener un puntaje superior a 80 en una escala de 100. Los cafés de especialidad resaltan atributos específicos de origen y variedades.

Café Comercial: Son cafés de calidad estándar, normalmente mezclas que buscan consistencia en sabor y suelen emplear robusta o mezclas de arábica y robusta. Estos cafés son accesibles en el mercado masivo y tienen un perfil de sabor menos complejo.

Café Orgánico y de Comercio Justo: Estos cafés cumplen con certificaciones específicas. Los cafés orgánicos se producen sin el uso de pesticidas ni

químicos, mientras que los de comercio justo garantizan condiciones laborales y de comercio justas para los productores.

1.4. Formulación del Problema.

¿Cuál será el efecto de la fermentación aeróbica y anaeróbica sobre la calidad organoléptica del café (*Coffea arabica*) de las variedades Geisha y Bourbon?

1.5. Justificación e importancia del estudio.

Demanda Creciente de Cafés Especiales y Valor Añadido

En la última década, los consumidores de café en todo el mundo han comenzado a desarrollar una preferencia marcada por productos que ofrezcan experiencias sensoriales únicas y de alta calidad. Esta demanda ha impulsado el crecimiento del mercado de cafés especiales, un segmento que valora tanto los métodos de producción artesanal como la diferenciación sensorial del producto. En este contexto, la fermentación se ha convertido en un proceso esencial, ya que permite manipular el perfil de sabor, aroma y textura del café para responder a estas exigencias. Sin embargo, la falta de estandarización y control en los procesos de fermentación, especialmente en el caso de técnicas aeróbicas y anaeróbicas, hace que la calidad y consistencia del café producido varíen considerablemente entre lotes y regiones. Este estudio, por lo tanto, es fundamental para generar conocimientos que permitan optimizar y reproducir perfiles sensoriales específicos, contribuyendo al posicionamiento de cafés diferenciados en el mercado global.

Avance en la Comprensión Científica de los Procesos de Fermentación en el Café

A nivel científico, existen pocos estudios detallados que exploren cómo los procesos de fermentación específicos afectan los compuestos químicos responsables de las propiedades sensoriales del café. La fermentación aeróbica y anaeróbica genera una variedad de metabolitos como ácidos orgánicos, ésteres y alcoholes, que son cruciales para los atributos organolépticos del café.

Sin embargo, la manera en que estas condiciones específicas de fermentación contribuyen a desarrollar perfiles particulares de sabor y aroma no se ha investigado exhaustivamente. Este estudio permitirá profundizar en el impacto que tienen los diferentes microorganismos, condiciones de oxígeno y tiempos de fermentación sobre la composición química del grano. La comprensión de estos mecanismos no solo contribuirá al avance del conocimiento en microbiología y bioquímica alimentaria, sino que también proporcionará una base para el desarrollo de técnicas de procesamiento innovadoras y precisas en la producción de café.

Optimización de la Producción y Competitividad de los Pequeños Productores

La producción de café es una de las principales actividades económicas en muchas regiones rurales, especialmente en países en desarrollo, donde millones de pequeños productores dependen de este cultivo para su sustento. Estos productores suelen enfrentarse a limitaciones tecnológicas y económicas que dificultan su competitividad en el mercado global. La implementación de técnicas de fermentación controlada, como las que se analizan en este estudio, podría ofrecer una alternativa accesible y de bajo costo para mejorar la calidad sensorial de su café sin necesidad de infraestructura costosa. La posibilidad de ofrecer cafés con perfiles sensoriales consistentes y de alta calidad permitiría a estos pequeños productores acceder a nichos de mercado más lucrativos, elevando sus ingresos y mejorando sus condiciones de vida. Este estudio, por tanto, tiene una importancia socioeconómica significativa, ya que podría contribuir a la sostenibilidad y viabilidad de la producción de café en pequeña escala.

Impacto en la Sostenibilidad de la Industria Cafetera

La fermentación anaeróbica puede reducir el consumo de agua en comparación con otros métodos de procesamiento de café, lo que representa una ventaja en términos de sostenibilidad. En muchas regiones productoras de café, el acceso al agua es limitado, y el proceso de lavado convencional del café requiere grandes cantidades de este recurso. Al desarrollar una comprensión precisa de cómo la fermentación anaeróbica puede utilizarse de manera efectiva

para mejorar el perfil sensorial del café, este estudio podría apoyar la adopción de prácticas más sostenibles en la industria. La reducción del consumo de agua y la minimización de residuos a través de técnicas de fermentación controlada contribuyen a reducir el impacto ambiental de la producción de café, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y conservación de recursos naturales.

Valoración de la Diversidad Microbiológica Local en la Producción de Café

En cada región cafetera existen microorganismos únicos que contribuyen al perfil sensorial distintivo del café producido allí. La fermentación controlada, ya sea aeróbica o anaeróbica, permite que estos microorganismos locales participen activamente en el proceso, generando perfiles de sabor auténticos y distintivos que reflejan el "terroir" o características ambientales y biológicas específicas de cada lugar. Este estudio contribuirá a resaltar y valorar la microbiota autóctona de cada región, promoviendo la biodiversidad y fomentando prácticas que respeten y preserven el entorno local. En este sentido, el conocimiento generado tiene una relevancia cultural y ecológica, ya que contribuye a la conservación de la identidad regional del café y fortalece el vínculo entre el producto y su origen.

Contribución a la Diferenciación y Diversificación del Producto en el Mercado de Cafés Especiales

En un mercado cada vez más orientado hacia la diferenciación de productos, el café especial se destaca como un bien con alta demanda debido a sus cualidades organolépticas. La capacidad de manipular los perfiles sensoriales mediante el control de la fermentación abre un abanico de posibilidades para crear cafés con características exclusivas que pueden satisfacer las demandas de un segmento exigente de consumidores. Este estudio es, por tanto, esencial para permitir que la industria cafetera responda a esta tendencia de consumo, ofreciendo productos que van más allá del sabor tradicional del café y explorando nuevas combinaciones de acidez, dulzura y complejidad aromática. De esta manera, la investigación no solo contribuye al desarrollo de nuevos productos, sino que también fortalece la posición de los productores en el mercado de cafés especiales.

Generación de Conocimientos para la Innovación en Procesos de Postcosecha

Finalmente, este estudio proporciona una base para la innovación en los procesos de postcosecha. Al entender cómo se pueden ajustar y controlar los parámetros de fermentación para mejorar la calidad del café, esta investigación ofrece pautas para el desarrollo de técnicas de procesamiento que puedan ser replicadas en diferentes entornos de producción. La generación de nuevos conocimientos en este campo no solo beneficia a los productores, sino que también fomenta la investigación en tecnologías de procesamiento de alimentos, permitiendo que otros sectores de la agroindustria puedan adaptarlas y beneficiarse de estos avances.

1.6. Hipótesis.

Hi: La fermentación anaeróbica mejora la calidad organoléptica en un 10 % más, con respecto a la fermentación aeróbica del café (*Coffea arabica*.) en la variedad Geisha, más que en la Bourbon

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General.

Determinar el efecto de la fermentación aeróbica y anaeróbica sobre la calidad física y organoléptica del café (*Coffea arabica*.) de las variedades Geisha y Bourbon

1.7.2. Objetivos Específicos

– Determinar la calidad física del café en sus atributos: Rendimiento exportable, café de segunda y humedad para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon.

– Determinar la calidad sensorial del café en sus atributos: Aroma / fragancia, Sabor, Posgusto, Acidez, Cuerpo, Uniformidad, Balance, Taza limpia, Dulzor, Apariencia general y Puntaje final del catador, para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

2.1.1. Tipo de Investigación

Según su finalidad es Investigación aplicada

Este estudio se clasifica como investigación aplicada porque su objetivo principal es generar conocimientos que tengan un uso práctico en la industria cafetalera. La finalidad no es únicamente expandir la comprensión teórica sobre los efectos de los procesos de fermentación en el café, sino también traducir estos conocimientos en mejoras concretas para los productores de café. En este sentido, el estudio busca identificar y describir cómo diferentes condiciones de fermentación (presencia o ausencia de oxígeno, tipo de microorganismos involucrados, y duración del proceso) pueden ser utilizadas para influir en las propiedades sensoriales del café, como el sabor, el aroma, y el cuerpo. Este tipo de investigación aplicada es particularmente relevante en el contexto de los cafés especiales, donde los productores están interesados en diferenciar su producto y satisfacer la creciente demanda de calidad sensorial por parte de los consumidores. De este modo, los resultados de la investigación pueden tener un impacto inmediato en las prácticas de producción, contribuyendo al mejoramiento de los procesos de postcosecha en la industria cafetalera y aumentando el valor de los productos en el mercado.

Según su profundidad de alcance es Investigación exploratoria

Desde la perspectiva de su alcance, el estudio se enmarca en la investigación exploratoria. Esto se debe a que, aunque existe un interés creciente en la fermentación del café, los efectos específicos de los procesos aeróbicos y anaeróbicos en sus propiedades sensoriales aún no han sido ampliamente documentados o comprendidos en profundidad. Al tratarse de un área de investigación emergente, esta exploración busca brindar una base inicial de conocimientos que permita entender mejor el fenómeno. La investigación

exploratoria es particularmente útil aquí, ya que ofrece un primer acercamiento para identificar patrones, establecer conexiones preliminares entre las condiciones de fermentación y los atributos sensoriales del café, y generar hipótesis que pueden ser evaluadas en estudios futuros. Por lo tanto, el enfoque exploratorio de esta investigación se centra en la observación y descripción de variables clave —como los metabolitos específicos producidos durante la fermentación y sus efectos en la percepción sensorial— proporcionando una estructura básica que facilite investigaciones más específicas y detalladas en el futuro.

Según el tipo de datos utilizados es Investigación cuantitativa

En términos de los datos que se emplearán, esta investigación se clasifica como cuantitativa. Esto implica que el estudio se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos, lo cual permite obtener resultados objetivos y medibles sobre el impacto de las diferentes condiciones de fermentación en el perfil sensorial del café. A través de la investigación cuantitativa, es posible estudiar variables específicas, como la concentración de ácidos, ésteres y otros compuestos generados durante los procesos de fermentación aeróbica y anaeróbica. Estas mediciones permiten analizar cómo varían estos compuestos según las condiciones experimentales y, a su vez, cómo estas variaciones se reflejan en la percepción sensorial de atributos como la acidez, la intensidad aromática y la textura. Además, el enfoque cuantitativo es fundamental para establecer relaciones estadísticas entre las variables estudiadas, facilitando comparaciones y la evaluación de correlaciones entre el tipo de fermentación y los atributos sensoriales del café. De este modo, la investigación cuantitativa proporciona una base empírica sólida que contribuye al rigor y la objetividad del estudio, permitiendo generar conclusiones fundamentadas sobre el impacto de la fermentación en la calidad del café.

2.1.2. Diseño de Investigación

El presente estudio emplea un diseño experimental, ya que se requiere la manipulación de variables independientes (en este caso, las condiciones de fermentación: aeróbica y anaeróbica) para observar y medir sus efectos en las variables dependientes, que son las propiedades sensoriales del café (como sabor, aroma, acidez y dulzura). Al utilizar un diseño experimental, se busca establecer relaciones de causa y efecto, lo cual es fundamental para este tipo de investigación aplicada. A través de este diseño, se controlan las condiciones en las que ocurre el proceso de fermentación, permitiendo obtener resultados objetivos que puedan ser replicados en otros contextos.

El diseño experimental se organizará en un diseño de comparación entre grupos, donde los grupos se diferencian por las condiciones de fermentación aplicadas. En este caso, se creará un grupo de muestras de café que se someten a fermentación aeróbica y otro grupo que se someterá a fermentación anaeróbica. Al comparar los resultados obtenidos entre estos grupos, se puede evaluar el impacto de cada tipo de fermentación en el perfil sensorial del café. Este enfoque permite identificar diferencias significativas en los atributos sensoriales generados por cada tipo de fermentación, proporcionando evidencia cuantitativa que respalde las conclusiones.

Uno de los aspectos clave de este diseño experimental es el control riguroso de variables que podrían afectar el proceso de fermentación y, por ende, las propiedades sensoriales del café. Se controlarán factores como la temperatura, el tiempo de fermentación, el nivel de pH y la cantidad de oxígeno en el entorno. Este control es esencial para garantizar que cualquier variación en los atributos sensoriales pueda atribuirse con mayor precisión a las condiciones de fermentación aeróbica o anaeróbica y no a otros factores externos. También se tomará en cuenta la microbiota natural del café, realizando controles para asegurar que las bacterias y levaduras involucradas en el proceso sean comparables entre ambos grupos experimentales, minimizando así posibles sesgos.

Dado que el objetivo es examinar las propiedades sensoriales del café bajo diferentes condiciones de fermentación, el diseño incluye la recolección de datos tanto sensoriales como químicos. En cuanto a los datos sensoriales, se realizarán análisis con un panel de cata entrenado, evaluando atributos como acidez, dulzura, cuerpo y balance. Además, se llevarán a cabo pruebas químicas para cuantificar compuestos específicos producidos durante la fermentación (como ácidos orgánicos, ésteres y alcoholes), utilizando técnicas analíticas como cromatografía de gases y espectrometría de masas. Al combinar datos sensoriales y químicos, el diseño de investigación permite obtener una visión integral del impacto de la fermentación en el perfil del café.

En este diseño experimental, el muestreo será aleatorio para asegurar que cada muestra de café tenga una probabilidad igual de ser seleccionada para cualquiera de los grupos de fermentación. Además, el tamaño de muestra se determinará con base en la variabilidad de las características sensoriales y químicas esperadas. Un tamaño de muestra adecuado permite obtener resultados con una significancia estadística que refleje diferencias reales entre los grupos experimentales. Este enfoque asegura que los resultados obtenidos no se deban al azar, sino a las variaciones en el tipo de fermentación aplicada.

Para el análisis de los datos, se utilizarán métodos estadísticos apropiados, como pruebas de hipótesis y análisis de varianza (ANOVA), que permitirán identificar diferencias significativas entre las propiedades sensoriales del café sometido a fermentación aeróbica y anaeróbica. Estas técnicas ayudan a evaluar el impacto específico de cada condición experimental y a determinar si los cambios observados en los atributos sensoriales son estadísticamente significativos. Además, se pueden aplicar correlaciones y regresiones para explorar la relación entre la concentración de ciertos compuestos químicos y los atributos sensoriales medidos, brindando una comprensión más detallada de cómo los procesos de fermentación afectan la calidad del café.

Este diseño experimental se implementará cuidando tanto la validez interna como la validez externa. La validez interna se asegura a través

del control de variables y la selección aleatoria de muestras, lo que permite que los resultados obtenidos sean atribuidos a las condiciones de fermentación. En cuanto a la validez externa, la investigación se diseñará para que los hallazgos puedan generalizarse a otros contextos dentro de la industria cafetalera, proporcionando pautas que los productores de café puedan aplicar en distintas regiones y condiciones de producción. Asimismo, se buscará garantizar la fiabilidad del estudio mediante la estandarización de los procedimientos y la replicación de las condiciones experimentales.

Finalmente, el diseño de investigación considera la ética en el manejo de muestras y el análisis de datos. Los procesos de fermentación se realizarán bajo condiciones controladas, siguiendo las normativas de seguridad para la manipulación de alimentos. En el análisis sensorial, el panel de cata será informado y se les pedirá consentimiento para su participación, garantizando el respeto a los derechos de los evaluadores. Además, la presentación de resultados se hará de manera transparente y objetiva, asegurando que los datos reflejen de manera precisa los efectos observados durante el estudio.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población.

Las cosechas de café son provenientes del distrito de San Ignacio, en el sector El Huabo a 1650.00 msnm, en donde se cosechó de 0.5 has de la variedad Bourbon y 0.5 has de Geisha

2.2.2. Muestra.

Para este caso se seleccionaron 20 plantas al azar por cada variedad, la cosecha del total de plantas constituye la muestra experimental, que fue 4 kg

de café pergamino seco por cada variedad, necesaria para hacer el diseño del experimento. La muestra constará de 04 unidades de análisis.

2.3. Variables, Operacionalización

En la Tabla 3 se muestra la operacionalización de las variables que se desarrollaran en este trabajo de investigación.

Tabla 1. Variables Independientes y Dependientes de la investigación

Variable	Sub-Variables	Indicadores	Instrumento
INDEPENDIENTE	Tipo de fermentación	<ul style="list-style-type: none"> • Aeróbico • Anaeróbico 	Fichas de observación.
	Variedad de café	<ul style="list-style-type: none"> • Geisha • Bourbon 	
DEPENDIENTES	Calidad Física del café	– Rendimiento exportable	Formato de análisis físico de café pergamino seco.
		– Café de segunda	Clasificación según norma ISO – 4150 “Green coffee - Size analysis - Manual sieving Green coffee”
		– Humedad	Balanza de Humedad
	Calidad sensorial del café	– Aroma /	Ficha de catación de la Specialty Coffee Association of America (SCAA).
		– Sabor	
		– Posgusto	
		– Acidez	

-
- Cuerpo
 - Uniformidad
 - Balance
 - Taza limpia
 - Dulzor
 - Apariencia
General
 - Puntaje final
de catador
-

Operacionalización de las variables.

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Análisis Químico de Compuestos en el Café

Una técnica crucial en este estudio es el análisis químico de los compuestos generados durante el proceso de fermentación. Para este fin, se emplean instrumentos avanzados de cromatografía de gases (GC) y espectrometría de masas (MS), los cuales permiten identificar y cuantificar los compuestos volátiles y no volátiles que influyen en el sabor y el aroma del café. El uso de GC-MS es ideal para determinar la concentración de compuestos como ácidos orgánicos, ésteres, alcoholes y otros metabolitos formados durante la fermentación. Estos instrumentos brindan datos precisos sobre la composición química del café, lo que facilita la comparación de las muestras fermentadas bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. La información obtenida a través de estas técnicas proporciona una base cuantitativa que respalda las evaluaciones sensoriales y permite establecer relaciones entre la composición química y los atributos perceptibles del café.

Evaluación Sensorial con Panel de Cata

Para medir las propiedades sensoriales del café, como el sabor, el aroma, la acidez y el cuerpo, se utiliza una técnica de evaluación sensorial que implica la participación de un panel de catadores entrenados. Estos evaluadores

reciben capacitación específica en la identificación de los atributos sensoriales relevantes en el café, asegurando así la precisión y la consistencia en sus evaluaciones. Se utiliza una ficha de cata estandarizada que contiene una escala para cada atributo, lo cual permite cuantificar la intensidad y calidad de cada aspecto sensorial. Este tipo de evaluación sensorial es esencial, ya que proporciona datos subjetivos que reflejan la percepción humana del café fermentado en diferentes condiciones. La combinación de datos sensoriales con el análisis químico permite realizar un análisis cruzado, relacionando la percepción con la presencia de compuestos específicos generados durante la fermentación.

Medición de Parámetros Físico-Químicos Durante la Fermentación

Además del análisis de compuestos finales, es relevante medir los parámetros físicos y químicos durante el proceso de fermentación, como el pH, la temperatura y los niveles de oxígeno en las muestras. Para ello, se utilizan instrumentos de medición específicos como medidores de pH, termómetros de precisión y sensores de oxígeno. Estos datos se registran en diferentes momentos a lo largo del proceso de fermentación para monitorear las variaciones en cada condición experimental (aeróbica o anaeróbica) y su efecto en el desarrollo del perfil sensorial. Estos parámetros influyen directamente en la actividad de las bacterias y levaduras responsables de la fermentación, por lo que su monitoreo es esencial para comprender cómo afectan el resultado final.

□ Uso de Encuestas o Cuestionarios para el Panel Sensorial
Además de la ficha de cata, es posible utilizar cuestionarios o encuestas que permitan a los catadores expresar impresiones generales y observaciones sobre las muestras evaluadas. Estas encuestas se estructuran de manera que los evaluadores puedan brindar información adicional sobre sus preferencias y percepciones generales del perfil de cada café. Esto es especialmente útil para identificar patrones en la preferencia de los consumidores, ya que ayuda a conocer cuáles atributos son valorados o percibidos de manera más positiva bajo cada tipo de fermentación.

Se recolectaron 10 kilogramos de cerezo de cada una de las variedades en óptimo estado de madurez, en las mismas condiciones, que permita garantizar la calidad del producto final. Se realizó la cosecha selectiva, descartando granos sobre maduros, verdes y defectuosos. La parcela de donde se colectó las cerezas se encuentra ubicada a 1650 msnm.

2.4.1. Beneficio húmedo del café cerezo

El beneficio húmedo es uno de los procesos de poscosecha más importantes en la preparación del café, especialmente en la producción de cafés de alta calidad. Este método se enfoca en la separación de las capas externas del fruto del café, conocido como cerezo, y en la remoción del mucílago que lo recubre, utilizando agua como medio de procesamiento. A diferencia del beneficio seco, que consiste en secar el café con toda su pulpa adherida, el beneficio húmedo facilita el desarrollo de un perfil sensorial más limpio y balanceado, lo cual resulta fundamental en la producción de cafés especiales y en la búsqueda de atributos de sabor y aroma específicos.

Etapas del Beneficio Húmedo del Café Cerezo

El proceso de beneficio húmedo consta de varias etapas que se llevan a cabo de manera secuencial. Cada etapa juega un rol crucial en el desarrollo de las características finales del café. Estas etapas incluyen:

Recepción y Clasificación del Café Cerezo: Una vez recolectados los frutos maduros del café, estos son sometidos a una clasificación inicial para separar los granos de mejor calidad de aquellos que presentan defectos. En esta etapa, el café cerezo pasa por canales de agua donde los frutos inmaduros y los defectuosos flotan y pueden ser eliminados, mientras que los frutos sanos y maduros se hunden. Esta selección inicial es fundamental para asegurar la calidad del café final.

Despulpado: Luego de la clasificación, los frutos maduros son despulpados, lo cual implica la remoción de la cáscara externa del café cerezo. Para ello, se emplean máquinas despulpadoras que separan el grano de la

pulpa. Este paso es crítico, ya que evita la presencia de sabores indeseados que pueden ser producidos por la pulpa durante el secado. Es importante regular adecuadamente las máquinas despulpadoras para minimizar el daño al grano y preservar la integridad del producto.

Fermentación y Lavado: Después del despulpado, los granos de café aún conservan una capa de mucílago, una sustancia pegajosa y rica en azúcares que debe ser removida para evitar la aparición de sabores fermentados no deseados. En el beneficio húmedo, el mucílago se elimina mediante un proceso de fermentación controlada. Durante la fermentación, los microorganismos presentes en el ambiente descomponen los azúcares del mucílago, facilitando su remoción. Este proceso puede durar entre 12 y 36 horas, dependiendo de factores como la temperatura y la humedad. Una vez finalizada la fermentación, los granos se lavan con agua para eliminar cualquier residuo de mucílago, obteniendo así un grano limpio y listo para el secado.

Secado: Tras el lavado, el café debe ser secado para reducir su contenido de humedad hasta niveles seguros para su almacenamiento. El secado puede realizarse al sol, en patios o camas elevadas, o mediante el uso de secadoras mecánicas. El objetivo es alcanzar una humedad de aproximadamente 10-12%, lo cual garantiza la estabilidad del grano durante su almacenamiento y transporte. El secado es una etapa crucial, ya que un proceso demasiado rápido o desigual puede causar daños en el grano, afectando negativamente la calidad sensorial del café.

Impacto del Beneficio Húmedo en las Propiedades Sensoriales del Café

El beneficio húmedo tiene una influencia significativa en el perfil sensorial del café. Este proceso ayuda a desarrollar una acidez más pronunciada y una mayor claridad en las notas de sabor, atributos que suelen ser altamente valorados en los cafés de especialidad. La remoción del mucílago mediante fermentación permite controlar los sabores ácidos y afrutados, lo cual proporciona un perfil sensorial limpio y balanceado, sin sabores excesivamente fermentados. Además, el beneficio húmedo ayuda a evitar defectos de sabor

relacionados con el secado irregular de la pulpa, que es común en el beneficio seco.

Al eliminar la pulpa y el mucílago, el beneficio húmedo permite que los sabores y aromas inherentes al grano se expresen de manera más pura. Esto contribuye a la diferenciación de perfiles regionales, permitiendo que las características propias de cada variedad y región cafetalera sean más evidentes. Por ejemplo, los cafés procesados mediante beneficio húmedo en regiones de alta altitud suelen destacar por sus notas cítricas y florales, mientras que los cafés de otras altitudes pueden presentar un balance único de acidez y dulzura.

Ventajas y Desafíos del Beneficio Húmedo

Entre las ventajas del beneficio húmedo se encuentra su capacidad para producir cafés de alta calidad con perfiles sensoriales bien definidos. Este método es ideal para destacar las características inherentes de variedades de café selectas, como las arábicas, y facilita la obtención de sabores limpios y brillantes. Sin embargo, el beneficio húmedo presenta también ciertos desafíos, especialmente en cuanto al manejo de agua y al control de los procesos de fermentación.

Uno de los mayores desafíos del beneficio húmedo es el consumo de agua, ya que este método requiere grandes cantidades para la fermentación y el lavado del grano. En zonas donde el agua es limitada, esto puede representar un problema de sostenibilidad. Además, el manejo inadecuado de los subproductos del beneficio, como las aguas residuales, puede ocasionar problemas ambientales, ya que estas contienen restos de mucílago y pulpa que, al ser vertidos en cuerpos de agua, pueden afectar la calidad del agua local.

Otro reto importante es el control de la fermentación. Dado que el proceso de fermentación afecta directamente el perfil de sabor del café, es fundamental que los productores mantengan condiciones controladas para evitar sabores indeseados. Esto requiere conocimiento y habilidad por parte de los trabajadores, quienes deben monitorear variables como la temperatura y el tiempo de fermentación para asegurar que el café mantenga su calidad.

Importancia Económica y Comercial del Beneficio Húmedo

El beneficio húmedo permite a los productores alcanzar estándares de calidad que cumplen con las expectativas de los mercados de cafés especiales. Esto es particularmente importante en países donde el café es un producto de exportación clave y donde la demanda de cafés de alta calidad genera ingresos significativos para los productores. Además, el proceso de beneficio húmedo aporta un valor agregado al café, ya que permite obtener precios más altos en mercados especializados, beneficiando así la economía de las comunidades productoras.

Al producir cafés de alta calidad, el beneficio húmedo también abre oportunidades de diferenciación en el mercado global. Los cafés procesados de esta manera son capaces de competir en concursos y certificaciones de calidad, lo cual aumenta su valor y reconocimiento. Esta diferenciación es fundamental en un mercado saturado, ya que permite a los productores posicionar sus cafés de acuerdo con las preferencias de los consumidores y aumentar su competitividad.

2.4.2. Control de calidad del café.

El control de calidad del café es un proceso fundamental en la industria cafetalera, ya que garantiza que el producto final cumpla con los estándares de sabor, aroma y presentación esperados por los consumidores y el mercado. Dado que el café es uno de los productos agrícolas más valorados a nivel mundial, asegurar su calidad en todas las etapas de producción y procesamiento es esencial para satisfacer la demanda de un mercado que valora tanto la consistencia como la diferenciación en el perfil sensorial. A continuación, se describen los elementos clave y las etapas del control de calidad en el café, desde la producción hasta el producto final.

Control de Calidad en la Etapa de Producción

El control de calidad en el café comienza en la etapa de producción, en la cual se supervisan factores como la selección de semillas, las prácticas de cultivo y las condiciones ambientales. Las variedades de café, como el Arábica o el Robusta, tienen características propias que deben ser gestionadas adecuadamente para maximizar su potencial de sabor y aroma. En esta fase, los productores realizan un monitoreo constante de la salud de las plantas y toman medidas preventivas para controlar plagas y enfermedades, las cuales pueden afectar gravemente la calidad del café. La gestión de las condiciones de cultivo, como la altitud, el clima y el tipo de suelo, también juega un papel crucial en el desarrollo de los atributos organolépticos del grano.

La recolección de los frutos es otro aspecto importante del control de calidad en esta etapa. La recolección manual y selectiva permite que solo los frutos maduros sean cosechados, lo cual garantiza un perfil sensorial óptimo en el café. Los frutos inmaduros o sobremaduros pueden generar defectos en el sabor, por lo que la selección cuidadosa del café cerezo es esencial para mantener la calidad del producto.

Control de Calidad en el Proceso de Beneficio

Después de la recolección, el café pasa por un proceso de beneficio (ya sea húmedo o seco) para eliminar la cáscara y el mucílago que rodean el grano. En esta fase, el control de calidad se centra en asegurar que el proceso de despulpado, fermentación, lavado y secado se realicen bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, en el beneficio húmedo, la fermentación controlada es fundamental para evitar defectos de sabor no deseados. Si el tiempo de fermentación es demasiado largo, pueden desarrollarse sabores indeseados; si es demasiado corto, el mucílago puede no eliminarse por completo, afectando la calidad del café.

El secado también requiere de un control riguroso, ya que es necesario reducir el contenido de humedad del grano hasta un nivel adecuado (entre el 10-12%)

para evitar el desarrollo de moho y otros problemas durante el almacenamiento. Los granos mal secos o que presentan niveles altos de humedad pueden afectar la estabilidad del producto, además de producir sabores y aromas no deseados. En este sentido, el control de calidad en el proceso de beneficio asegura que el grano conserve sus características originales y esté listo para su almacenamiento sin comprometer su calidad.

Control de Calidad Durante el Almacenamiento

Una vez procesado, el café se almacena en condiciones controladas para preservar su calidad hasta el momento de la exportación o el tostado. En esta fase, el control de calidad implica asegurar que los granos se mantengan en un ambiente seco y fresco, con niveles de humedad y temperatura controlados. El almacenamiento en condiciones inadecuadas puede llevar a la oxidación de los compuestos presentes en el café, lo cual afecta directamente su frescura y sabor. Además, el contacto con contaminantes externos, como olores fuertes o humedad, puede alterar las propiedades organolépticas del grano.

En esta etapa, también es importante prevenir la infestación de plagas que puedan deteriorar el grano. Los métodos de almacenamiento incluyen el uso de sacos de yute o bolsas especiales que permiten la ventilación adecuada, así como el monitoreo regular de las condiciones del almacén. El control de calidad durante el almacenamiento es esencial para asegurar que el grano conserve su frescura y calidad antes de pasar a la etapa de tostado.

Control de Calidad en el Tostado del Café

El tostado es una de las etapas más críticas en la cadena de producción del café, ya que es donde se desarrollan las características sensoriales finales del producto. Durante el tostado, los granos de café experimentan transformaciones químicas y físicas que producen compuestos volátiles responsables de los sabores y aromas típicos del café. El control de calidad en esta fase implica monitorear la temperatura y el tiempo de tostado, ya que variaciones en estos

parámetros pueden afectar el perfil sensorial. Un tostado excesivo puede llevar a sabores amargos y carbonizados, mientras que un tostado insuficiente puede resultar en un café de sabor plano y ácido.

Para asegurar la consistencia y calidad en el perfil sensorial, los tostadores suelen utilizar técnicas de catación para probar muestras y ajustar el proceso de tostado según los resultados. Este control de calidad permite obtener un café uniforme en sabor y aroma, cumpliendo con las expectativas de los consumidores y los estándares del mercado. En algunos casos, se realizan pruebas químicas para evaluar la presencia de compuestos específicos, como ácidos, que contribuyen al balance del sabor.

Control de Calidad en la Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial, o catación, es una técnica fundamental en el control de calidad del café. Este proceso involucra la participación de catadores entrenados que evalúan los atributos sensoriales del café, como el aroma, el sabor, el cuerpo, la acidez y el retrogusto. La catación permite identificar defectos en el perfil sensorial y confirmar que el café cumple con los estándares de calidad esperados. Los catadores utilizan una ficha de evaluación estandarizada para cuantificar cada atributo sensorial y asignar una puntuación que determina la calidad general del café.

La evaluación sensorial es una herramienta importante para los productores y exportadores, ya que permite garantizar que el café esté en las condiciones óptimas para el mercado de destino. Este tipo de control de calidad es especialmente relevante en el mercado de cafés especiales, donde los consumidores buscan perfiles de sabor únicos y consistentes.

Control de Calidad en la Comercialización y Exportación

En la etapa final de la cadena de suministro, el control de calidad asegura que el café cumpla con las regulaciones y estándares del mercado de destino. Los procesos de inspección y certificación en esta fase verifican que el café esté libre de defectos y que cumple con los parámetros de calidad exigidos por los compradores internacionales. Las certificaciones de calidad, como las obtenidas a través de la SCA (Specialty Coffee Association), contribuyen a asegurar que el café cumpla con altos estándares de calidad, lo que puede mejorar su valor y su competitividad en el mercado global.

En conclusión, el control de calidad del café es un proceso integral que abarca todas las etapas de producción, desde el cultivo hasta la comercialización final. Este control es esencial para garantizar la consistencia, frescura y calidad del producto, factores que son determinantes para la aceptación del café en el mercado y para la satisfacción del consumidor. Al implementar prácticas rigurosas de control de calidad, los productores pueden maximizar el valor de su café y diferenciarse en un mercado cada vez más exigente.

Catación

La catación ha sido realizada en las mismas condiciones para cada una de las tres muestras de las variedades en evaluación. Las mismas condiciones se han dado en cada una de las repeticiones.

Posteriormente a temperatura de 92°C, se adiciona y de forma rápida el agua hervida a chorros, de manera que se disuelva todas las partículas de café molidas anteriormente.

Luego de pasados 5 minutos, procedemos a retirar la espuma de la superficie del pírex, en este momento se ha determinado el aroma del café.

Una vez llegado al minuto 10 desde que el café molido entro en contacto con el agua empezamos a probar y degustar la bebida a través de sorbos constantes para determinar el sabor, sabor residual, acidez y cuerpo.

Considerando las muestras se evalúa, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor y puntaje del catador. Posteriormente con la suma de todos los atributos obtenemos el puntaje total.

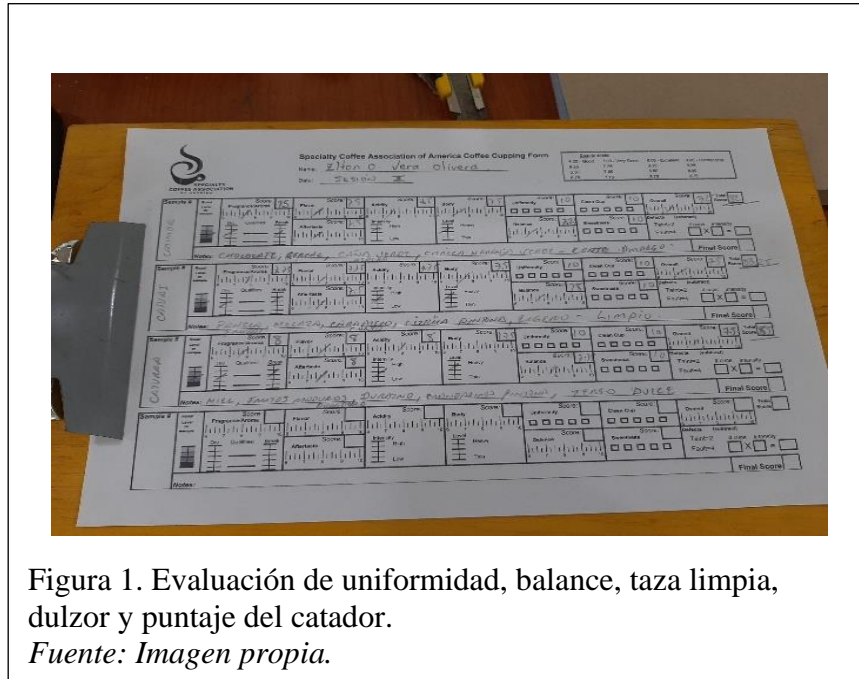


Figura 1. Evaluación de uniformidad, balance, taza limpia, dulzor y puntaje del catador.

Fuente: Imagen propia.

El proceso de catación no debería pasar de un lapso de 30 a 45 minutos en el cual debemos determinar la calidad de dicha muestra.

2.4.3. Instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron Instrumentos e equipos para Campo y laboratorio:

a) Materiales y Equipos en campo.

- Canastas o recipientes de tamaño medio: Contenedores tipo "media lata" para la recolección y transporte de muestras.
- Máquina despulpadora: Equipo diseñado para retirar la pulpa de frutas, facilitando el procesamiento de los granos o semillas.
- Motor eléctrico: Fuente de energía motriz que proporciona la potencia necesaria para operar la despulpadora u otros equipos.

- Cuatro baldes plásticos de 20 litros: Cubetas resistentes de 20 L de capacidad para contener, trasladar o mezclar líquidos y materiales durante el proceso.
- Tinajas de 50 litros: Recipientes grandes de plástico o metal con capacidad de 50 L, utilizados para almacenar y manipular grandes volúmenes de líquidos o materiales.
- Agua: Elemento esencial en el proceso de limpieza y tratamiento de los productos.
- Secador solar: Dispositivo que utiliza energía solar para el secado de materiales, garantizando un proceso natural y eficiente.
- Tablero de control o registro: Panel donde se monitorean y registran las variables y el progreso de las operaciones.
- Cronómetro: Herramienta para medir el tiempo con precisión, permitiendo el control de etapas específicas del proceso.
- Ficha de observación: Formato estructurado que permite la anotación y seguimiento de observaciones y datos durante el procedimiento.
- Cámara fotográfica: Dispositivo para documentar visualmente el proceso y capturar imágenes de referencia de las etapas.
- Bolsas de polietileno transparente de alta densidad: Empaques resistentes que protegen los materiales y mantienen su integridad para almacenaje y transporte.
- Bolígrafo: Instrumento de escritura para tomar notas, registrar datos y completar formularios.
- Papel bond: Hojas de papel de uso general para anotar observaciones y otros datos importantes.

b) Materiales y Equipos en laboratorio.

- Bidón de agua: Contenedor de gran capacidad utilizado para almacenar agua potable necesaria para diversos procesos y limpieza de instrumentos.

- Pírex de porcelana: Recipiente de porcelana resistente al calor, ideal para calentar o mezclar sustancias sin riesgo de alteración.
- Tazas de cata: Vasos o tazas específicos para la degustación de muestras, permitiendo una evaluación detallada de las características organolépticas del producto.
- Cuchara de catación de acero inoxidable: Cuchara especializada, generalmente de acero inoxidable, utilizada para probar y evaluar la calidad del café mediante técnicas de cata.
- Molino Mahlkönig: Molino de alta precisión para moler café, permitiendo obtener un tamaño de grano uniforme, fundamental para una cata precisa.
- Tostadora de 80 rpm: Máquina para tostar granos a una velocidad de 80 revoluciones por minuto, proporcionando un tostado uniforme que permite apreciar los matices de sabor.
- Bandeja para muestras: Superficie plana donde se colocan muestras de café o grano para su observación y selección.
- Escupideros: Recipientes donde los catadores escupen el café probado, permitiendo evaluar muchas muestras sin consumirlas.
- Balanza de precisión: Instrumento para medir el peso exacto de las muestras, indispensable para obtener medidas consistentes en cada fase.
- Colorímetro: Dispositivo que mide la intensidad de color, útil para evaluar el grado de tostado de los granos de café.
- Termómetro: Herramienta para medir la temperatura, fundamental para controlar las condiciones de tostado y preparación de las muestras.
- Cuchara para peso: Cuchara con balanza integrada, permitiendo medir cantidades específicas de café o granos de manera rápida y precisa.
- Bolsas de polipropileno: Empaques de alta durabilidad y resistencia, utilizados para almacenar muestras sin alterar su calidad.

- Mesas de catación: Superficies de trabajo específicas para realizar catas, diseñadas para mantener el orden y facilitar el acceso a los utensilios necesarios.
- Teteras: Recipientes para calentar agua, permitiendo la preparación adecuada de las muestras de café para la cata.
- Hervidor de agua: Aparato eléctrico para calentar agua a una temperatura específica, esencial para la preparación de café en las condiciones adecuadas.
- Cronómetro: Instrumento de medición de tiempo preciso, utilizado para controlar los intervalos en cada etapa del proceso de catación.
- Ficha de catación SCAA: Formato estandarizado por la Asociación de Cafés Especiales (SCAA) que permite registrar y evaluar las características del café de forma profesional.
- Lápiz para tablero: Utensilio de escritura para tomar notas en pizarras o tableros durante las sesiones de cata.
- Detector de humedad: Dispositivo que mide el contenido de humedad en los granos de café, ayudando a garantizar un tostado y almacenamiento óptimos.
- Cámara fotográfica: Equipo para documentar visualmente cada paso del proceso, capturando imágenes que ayudan en el análisis y la trazabilidad.

2.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se consideró cada fecha de catación como una repetición y se trató cada variedad como un tratamiento específico. Los parámetros de calidad de cada variedad en evaluación constituyeron las unidades de observación en este estudio. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias entre los tratamientos. Posteriormente, se utilizó la prueba de Tukey para determinar la naturaleza de estas diferencias y analizar cuáles tratamientos presentaban variaciones significativas en comparación con otros.

La prueba de Tukey, conocida también como prueba de diferencia significativa honesta (HSD) de Tukey, es una prueba post-hoc basada en la distribución del rango studentizado. Aunque el ANOVA permite identificar si existen diferencias estadísticamente significativas de manera general entre los tratamientos, no indica en qué combinaciones específicas de medias se presentan dichas diferencias. Una vez que el ANOVA ha sido ejecutado y se detectan resultados significativos, es posible aplicar la prueba HSD de Tukey para analizar comparaciones entre grupos específicos. Esta prueba realiza un análisis exhaustivo de todos los pares de medias posibles, identificando aquellos que presentan diferencias estadísticamente relevantes entre sí.

En resumen, este enfoque estadístico permite una evaluación precisa de las diferencias de calidad entre variedades, aprovechando la capacidad del ANOVA para determinar significancia general y de la prueba de Tukey para realizar comparaciones detalladas entre tratamientos individuales, lo que proporciona una comprensión completa de la variabilidad entre grupos.

Para probar todas las comparaciones por pares entre medias usando el Tukey HSD, se calcule HSD para cada par de medias usando la siguiente fórmula:

$$\text{HSD} = \frac{M_i - M_j}{\sqrt{\frac{MS_w}{n_h}}}$$

III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Determinación de la calidad física del café para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon

Tabla 2. Calidad física del café para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon

	Rendimiento exportable			Café de segunda			Humedad		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
TAEG	78.33	77.66	77.33	3.67	3.00	3.00	11.94	12.20	12.60
TAEB	77.00	78.00	78.33	3.00	1.66	2.00	12.10	13.40	13.00
TANG	78.00	77.33	78.00	3.67	4.00	1.80	12.20	12.20	12.80
TANB	78.60	78.00	78.00	2.00	2.00	1.66	13.20	12.60	13.70

Fuente: Elaboración Propia

TAEG: Fermentación aeróbica + Geisha

TAEB: Fermentación aeróbica + Bourbon

TANG: Fermentación anaeróbica + Geisha

TANB: Fermentación anaeróbica + Bourbon

R1, R2, R3: Repeticiones

3.1.1. Análisis de Varianza de la calidad física

La Tabla 4 presenta un resumen del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a las características porcentuales de Rendimiento exportable, Café de Segunda y Humedad. En los resultados se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de estas tres características, lo que sugiere que las variaciones encontradas en los datos no son lo suficientemente grandes como para ser consideradas estadísticamente relevantes.

Los valores del coeficiente de variación para cada característica fueron 0.60% para Rendimiento exportable, 32.96% para Café de Segunda y 4.47% para Humedad. Estos coeficientes indican una excelente homogeneidad entre las unidades experimentales para las características de Rendimiento exportable y Humedad, donde el bajo coeficiente de variación sugiere que las mediciones son consistentes y presentan poca dispersión. Sin embargo, en el caso de Café de Segunda, el coeficiente de variación más elevado (32.96%) refleja una menor homogeneidad entre las unidades experimentales, lo que indica una mayor variabilidad en los datos de esta característica.

En conclusión, aunque las características de Rendimiento exportable y Humedad muestran una adecuada consistencia en las mediciones, la variabilidad observada en Café de Segunda indica que podrían estar presentes factores adicionales o fluctuaciones que afectan la homogeneidad de esta característica en los tratamientos evaluados. Tabla 3. Resumen del análisis de varianza para las características porcentaje Rendimiento exportable, Café de segunda y Humedad, en 400 g de café pergamino

F.V.	GL	Porcentaje de:								
		Rendto. Export.			Café Segunda			Humedad		
		C.M.	p.valor	Sig.	C.M.	p.valor	Sig.	C.M.	p.valor	Sig.
Trat.	3	0.14	0.671	ns	1.35	0.125	Ns	0.53	0.172	ns
Error Exp.	8	0.25			0.52			0.24		
Total	11									
CV:(%)		0.60			32.96			4.47		

Fuente: Elaboración propia

ns: no significativo al 95 %

CV: Coeficiente de Variación.

3.1.2. Prueba de Tukey para la calidad física

La prueba de Tukey es una de las herramientas más robustas para realizar comparaciones múltiples de medias. Su robustez radica en que exige diferencias

relativamente grandes entre las medias para determinar si las diferencias son estadísticamente significativas. Esto implica que es menos probable que detecte diferencias significativas que en realidad no existen, lo cual minimiza el riesgo de errores tipo I (falsos positivos) al realizar múltiples comparaciones. Además, su eficiencia es notable en la comparación de medias entre grupos, proporcionando una evaluación precisa de las diferencias reales entre tratamientos.

Para llevar a cabo la prueba de Tukey, es necesario calcular un comparador conocido como W_p . Este valor actúa como un punto de referencia que se compara con las diferencias observadas entre las medias de los tratamientos. Al comparar cada par de medias con W_p , se establece si las diferencias entre ellas son suficientemente grandes como para ser consideradas estadísticamente significativas. Este enfoque asegura un análisis detallado y confiable en la identificación de las verdaderas diferencias entre los grupos evaluados.

La fórmula es:

$$W_p = q_{\alpha} * S_{\bar{x}}$$

$$q_{\alpha} = (trt, gle)$$

Donde:

Trt: número de tratamientos (en tablas)

gle: grados de libertad del error (en tablas)

$$q_{\alpha} = (trt, gle) = 4.53 \text{ (al 95\% de confianza: } \alpha = 0.05)$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{CME/r} = \sqrt{0.25/4} = 0.25$$

Entonces el W_p para el Rendimiento exportable es:

$$W_p = q_{\alpha} * S_{\bar{x}} = 4.53 * 0.25 = 1.1325$$

Entonces el W_p para el Café de segunda es:

$$W_p = q\alpha * S\bar{x} = 4.53 * 0.52 = 2.3556$$

Entonces el W_p para la Humedad es:

$$W_p = q\alpha * S\bar{x} = 4.53 * 0.24 = 1.0852$$

La Tabla 5 muestra los resultados de la prueba de comparación de Tukey aplicada a las características evaluadas. En el análisis del Rendimiento exportable, el tratamiento que presenta mayor significancia corresponde a la fermentación Aeróbica en la variedad Geisha (TAEG), alcanzando un promedio de 78.20. Este puntaje indica que esta combinación específica de tipo de fermentación y variedad de café logra un rendimiento exportable superior en comparación con los demás tratamientos.

En el caso de Café de segunda, se observa que la fermentación Anaeróbica en la variedad Bourbon (TANB) presenta la mayor significancia, con un puntaje de 3.22. Esto sugiere que esta combinación tiene un mayor impacto en la producción de café de segunda categoría. Le sigue la fermentación Anaeróbica en la variedad Geisha, con un puntaje de 3.16, lo cual indica una menor, pero también relevante, contribución a la característica evaluada.

Respecto a la Humedad, los resultados muestran que la fermentación Anaeróbica en la variedad Bourbon (TANB) también alcanza el puntaje más alto en esta categoría, con un valor promedio de 13.17. Le sigue la fermentación Aeróbica en la misma variedad Bourbon (TAEB), que obtuvo un puntaje de 12.83. Estos valores sugieren que la combinación de tipo de fermentación y variedad de café tiene un efecto significativo en el contenido de humedad del grano, siendo la fermentación anaeróbica en la variedad Bourbon la que más contribuye a un aumento en esta característica.

En resumen, los resultados de la prueba de Tukey revelan que las combinaciones de tipo de fermentación y variedad de café tienen efectos distintos en cada una de las características estudiadas, con la fermentación aeróbica en Geisha destacándose en rendimiento exportable y la fermentación anaeróbica en Bourbon mostrando una influencia significativa tanto en café de segunda como en humedad.

Tabla 4. Prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha= 0.05$) de las características, porcentaje de Rendimiento exportable, Café de segunda y Humedad, en 400.0 g de café pergamino seco.

Porcentaje de:								
Rendimiento exportable			Café de segunda			Humedad		
Trat.	prom.	Sig.	Trat.	prom.	Sig.	Trat.	prom.	Sig.
TAEG	78.20	a	TANB	3.22	a	TANB	13.17	a
TANG	77.78	b	TANG	3.16	a b	TAEB	12.83	a b
TAEB	77.78	b	TAEB	2.22	b	TANG	12.40	b
TANB	77.77	b	TAEG	1.89	b	TAEG	12.25	b

Fuente: Elaboración Propia

Nota:

TAEG: Fermentación aeróbica + Geisha

TAEB: Fermentación aeróbica + Bourbon

TANG: Fermentación anaeróbica + Geisha

TANB: Fermentación anaeróbica + Bourbon

En la figura siguiente se puede observar la relación entre las características Rendimiento Exportable y Café de Segunda, lo cual permite contrastar cómo diferentes tratamientos afectan ambos parámetros. En particular, se puede verificar que el tratamiento con fermentación anaeróbica en la variedad Bourbon genera un puntaje más alto en Rendimiento Exportable. Esto sugiere que dicha

combinación de fermentación y variedad es favorable para obtener un mayor rendimiento en términos de calidad exportable del café.

Sin embargo, este mismo tratamiento muestra una reducción en el puntaje correspondiente a Café de Segunda, lo que implica una menor cantidad de granos clasificados en esta categoría. Esto puede interpretarse como una ventaja adicional, ya que un menor puntaje en Café de Segunda indica que se han reducido los defectos o granos de calidad inferior. En otras palabras, la fermentación anaeróbica aplicada a la variedad Bourbon no solo mejora el rendimiento exportable, sino que también contribuye a obtener una mayor proporción de granos de calidad superior, disminuyendo la cantidad de café clasificado como de segunda categoría.

Este contraste entre Rendimiento Exportable y Café de Segunda proporciona una visión integral sobre cómo el tipo de fermentación y la variedad de café pueden optimizar la calidad general del producto.

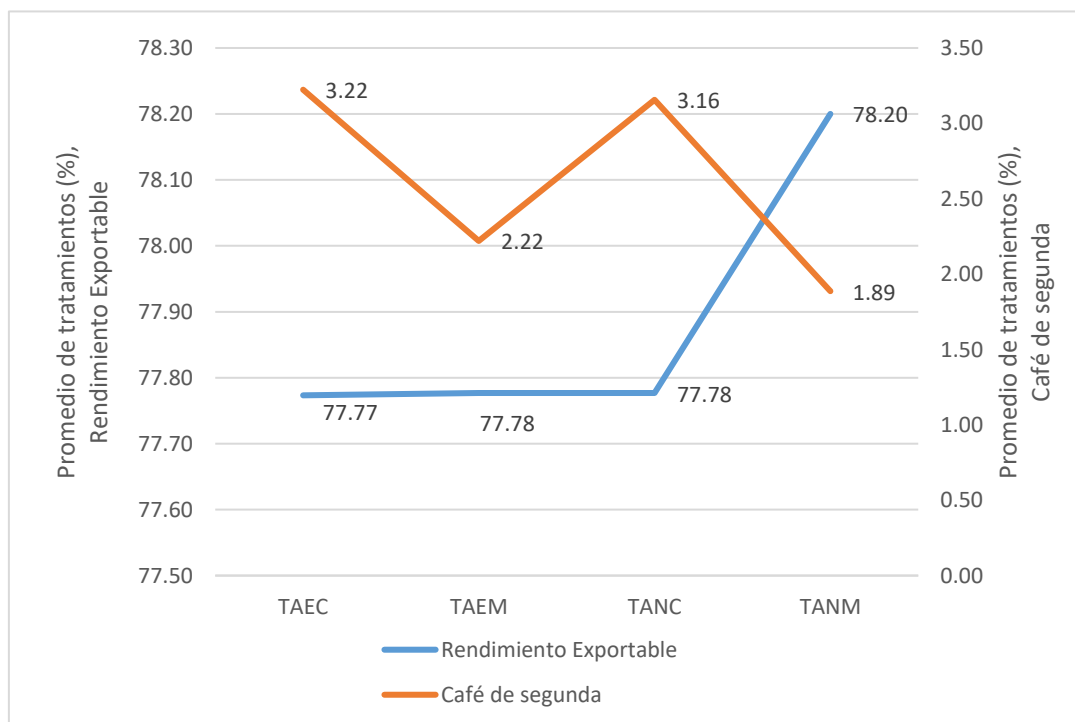


Figura 2. Relación aritmética del porcentaje de rendimiento exportable con porcentaje de defectos.

3.2. Determinación de la calidad sensorial del café para un proceso de fermentación aeróbica y anaeróbica en variedades Geisha y Bourbon

Para determinar la calidad sensorial se trabajó con 5 catadores experimentados, analizando los siguientes atributos:

- Aroma / fragancia
- Sabor
- Posgusto
- Acidez
- Cuerpo
- Uniformidad
- Balance
- Taza limpia
- Dulzor
- Apariencia general
- Puntaje final del catador

En la Figura 3, 4, 5 y 6, se puede observar cuales son las características que predominan más en el análisis sensorial.

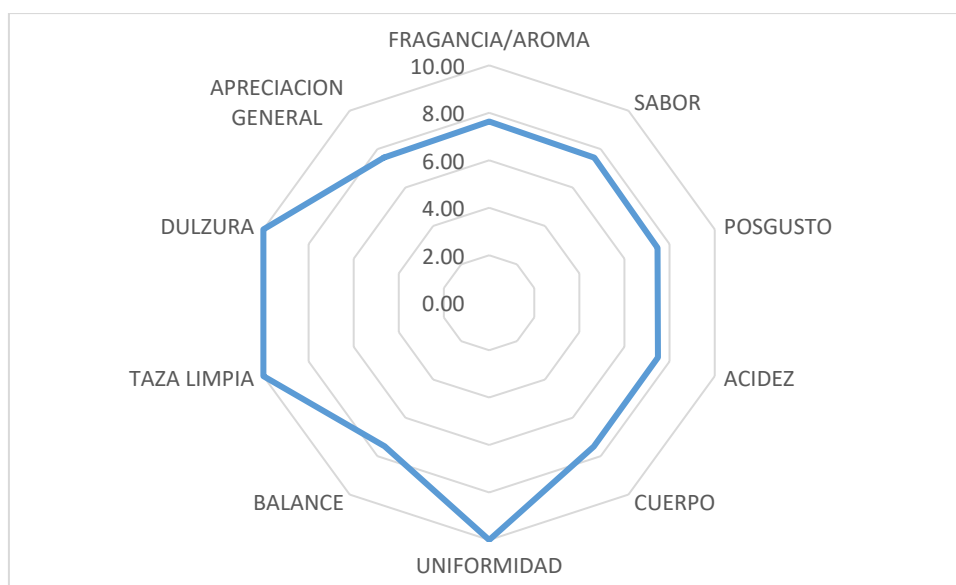


Figura 3. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Aeróbica y Variedad Geisha (TAEG)

En las figuras se observa que los atributos de Dulzura, Taza Limpia y Uniformidad presentan puntajes altos, cercanos al valor máximo, lo que indica que estos aspectos son bien valorados en las muestras evaluadas. Este resultado sugiere que, en términos de dulzura, limpieza en taza y uniformidad, el

café evaluado cumple con los estándares de calidad esperados, alcanzando una puntuación consistente y favorable.

Por otro lado, en los atributos de Fragancia/Aroma, Sabor, Posgusto, Acidez, Cuerpo, Balance y Apariencia General, los puntajes se mantienen por debajo de los 8 puntos. Este resultado es consistente entre los cinco catadores, quienes coincidieron en otorgar calificaciones más bajas para estos aspectos en comparación con los atributos previamente mencionados. Esta uniformidad en las puntuaciones sugiere que los evaluadores percibieron de manera similar estos atributos, indicando que, aunque los atributos de dulzura, limpieza y uniformidad destacan, existen áreas de mejora en cuanto al perfil aromático, el sabor y otros factores que contribuyen a la experiencia sensorial completa del café.

Este análisis comparativo permite identificar los puntos fuertes y las áreas que podrían optimizarse para mejorar la percepción general del café, especialmente en los aspectos que se mantienen por debajo del valor deseado de 8 puntos.

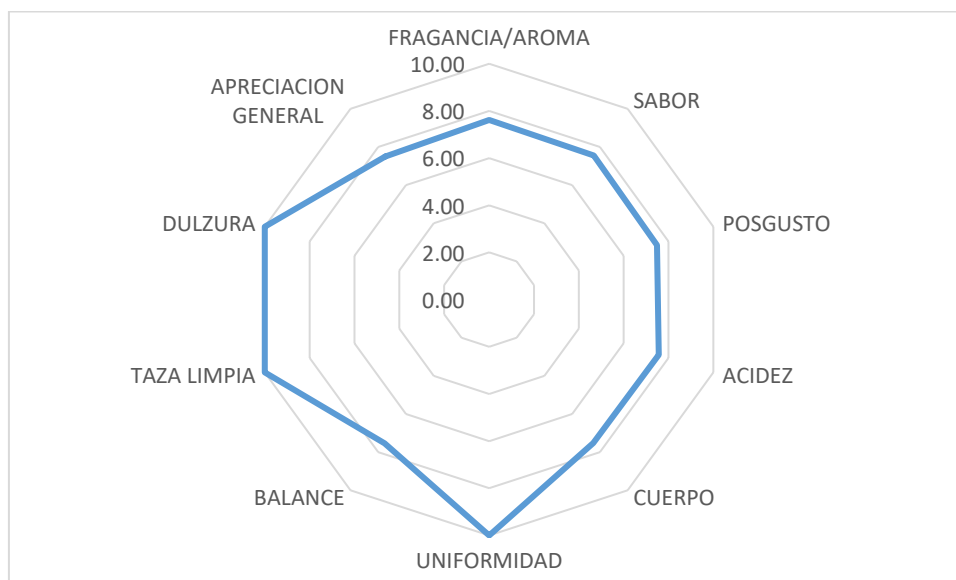


Figura 4. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Aeróbica y Variedad Bourbon (TAEB)

Fuente: Elaboración propia.

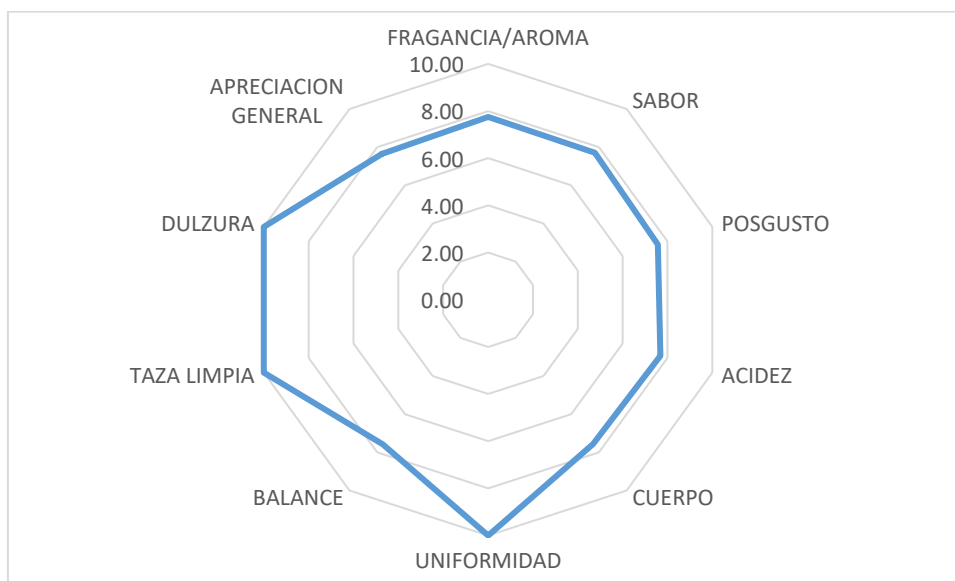


Figura 5. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Anaeróbica y Variedad Geisha (TAEB)

Fuente: Elaboración propia.

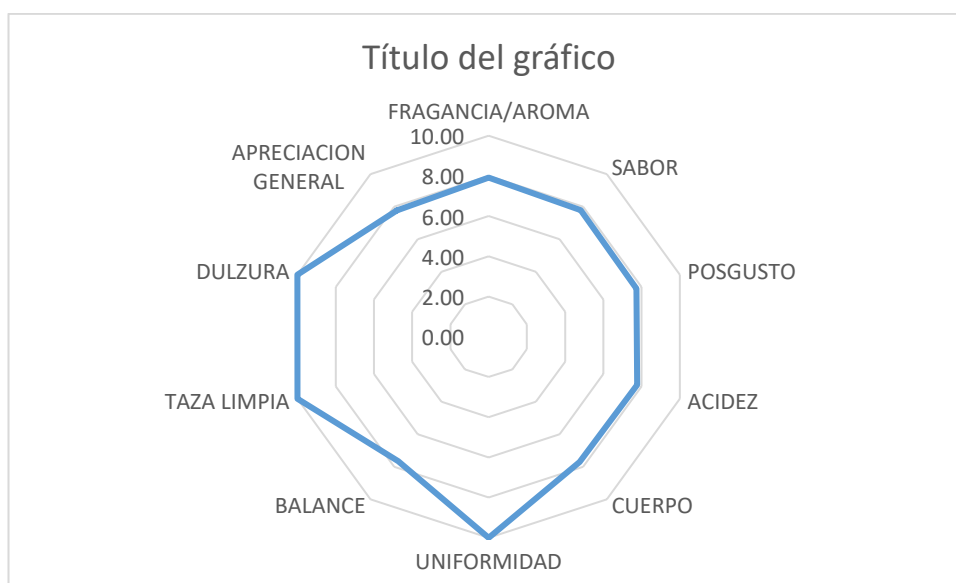


Figura 6. Puntaje de los atributos sensoriales de la Fermentación Anaeróbica y Variedad Bourbon.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, podemos observar los valores totales de la suma del puntaje de los atributos, para cada tratamiento, dichos tratamientos fueron realizados por triplicado.

Tabla 5. Resumen de resultados para dada Catador, en los diferentes tratamientos.

Trat.	Tipo de Fermentación	Variedad de café	Catador 1	Catador 2	Catador 3	Catador 4	Catador 5
TAEG	aerobica	Geisha	82.75	82.75	82.00	83.75	82.25
TAEG	aerobica	Geisha	83.25	83.25	82.00	84.75	80.25
TAEG	aerobica	Geisha	82.75	82.75	82.50	82.75	81.75
TAEB	aerobica	Bourbon	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00
TAEB	aerobica	Bourbon	82.50	82.50	82.00	82.75	82.75
TAEB	aerobica	Bourbon	81.50	81.50	83.50	82.50	83.50
TANG	anaerobica	Geisha	83.75	83.75	84.00	84.00	83.00
TANG	anaerobica	Geisha	83.50	83.50	83.75	83.75	83.75
TANG	anaerobica	Geisha	83.00	83.00	82.00	84.00	83.75
TANB	anaerobica	Bourbon	84.25	84.25	84.25	85.00	84.50
TANB	anaerobica	Bourbon	83.50	83.50	84.50	85.00	84.50
TANB	anaerobica	Bourbon	84.25	84.25	84.00	84.00	84.00

Fuente: Elaboración Propia

Nota: La simbología para cada tratamiento es como sigue:

TAEG: Fermentación aeróbica + Geisha

TAEB: Fermentación aeróbica + Bourbon

TANG: Fermentación anaeróbica + Geisha

TANB: Fermentación anaeróbica + Bourbon

3.2.1. Análisis de Varianza de la calidad sensorial

En la tabla siguiente, se muestra el análisis de varianza, en donde destacamos la significancia estadística del modelo, así también el Factor A: Fermentación, tiene un p-valor menor a 0.0001 y el Factor B: Variedad, tiene un p-valor de 0.0205, de igual forma la interacción AB tiene un p-valor de 0.0299, esto nos confirma la significancia por ser menores a 0.05.

Tabla 6. Tabla de análisis de Varianza (ANOVA) para la calidad sensorial.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrados Medios	F Valor	p-valor Prob > F	
Model	5.35	3	1.782	32.164	< 0.0001	Significant
A-Fermentación	4.50	1	4.502	81.237	< 0.0001	
B-Variedad	0.46	1	0.460	8.305	0.0205	
AB	0.39	1	0.385	6.951	0.0299	
Pure Error	0.44	8	0.055			
Cor Total	5.79	11				
Desv. Estandar	0.15	R ²	0.9679	C.V.	0.18	

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Prueba de Tukey para calidad sensorial

Para el análisis de la calidad sensorial, se utilizó esta prueba debido a su robustez para realizar comparaciones múltiples de medias. Esto significa que la prueba requiere diferencias marcadas entre medias para determinar si las variaciones son estadísticamente significativas. En este contexto, la prueba ayuda a minimizar el riesgo de detectar diferencias significativas que podrían ser producto del azar.

Como parte de este procedimiento, es necesario calcular un valor comparador, conocido como W_p , que servirá como referencia al compararlo con las medias de los diferentes tratamientos. Al contrastar cada media con este comparador, es posible identificar con mayor precisión cuáles tratamientos presentan diferencias significativas. Esta metodología permite realizar un análisis detallado y confiable de las características sensoriales del café, asegurando que solo se consideren significativas aquellas diferencias que realmente impacten en la calidad percibida.

La fórmula es: $W_p = q\alpha * S\dot{x}$

Donde:

$q\alpha = (trt, gle)$

$S\dot{x} = \sqrt{CME/r}$

Entonces el W_p para el Rendimiento exportable es:

$W_p = q\alpha * S\dot{x} = 4.53 * 0.055 = 0.24915$

En la Tabla 5, se presentan los resultados de la prueba de comparación de Tukey aplicada a las evaluaciones realizadas por los cinco catadores entrenados. Los datos indican que, para todos los catadores (Catador 1, Catador 2, Catador 3, Catador 4 y Catador 5), el tratamiento con mayor significancia fue la Fermentación Anaeróbica en la variedad Bourbon (TANB). Los puntajes promedio alcanzados por este tratamiento fueron de 80.00, 84.33, 84.25, 84.67 y 84.33 respectivamente, mostrando una valoración consistente y elevada entre los catadores para esta combinación de fermentación y variedad.

El segundo tratamiento en términos de significancia fue la Fermentación Aeróbica para la misma variedad Bourbon (TAEB), con puntajes obtenidos de 83.42, 83.42, 83.25, 83.92 y 83.50 para los catadores 1 al 5, respectivamente. Estos resultados indican que la fermentación aeróbica en la variedad Bourbon también fue bien evaluada, aunque con puntajes ligeramente menores en comparación con la fermentación anaeróbica.

En conjunto, estos resultados reflejan que ambos tipos de fermentación (aeróbica y anaeróbica) en la variedad Bourbon fueron valorados positivamente por todos los catadores, con una tendencia hacia la preferencia por el tratamiento anaeróbico. Esto sugiere que la elección del método de fermentación tiene un impacto notable en la calidad percibida de esta variedad, destacándose la

fermentación anaeróbica como la opción con mayor aceptación entre los evaluadores. Tabla 7. Prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha= 0.05$) de los resultados de los catadores.

Porcentaje para el:										
Catador 1			Catador 2			Catador 3				
Trat.	prom.		Trat.	prom.		Trat.	prom.			
TANB	84.00	a	TANB	84.33	a	TANB	84.25	a		
TAEB	83.42	b	TAEB	83.42	b	TAEB	83.25	b		
TAEG	82.92	C	TAEG	83.08	C	TANG	82.83	c		
TANG	82.33	d	TANG	82.83	d	TAEG	82.17	d		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha= 0.05$) de los resultados de los catadores.

Porcentaje para el:					
Catador 4			Catador 5		
Trat.	prom.		Trat.	prom.	
TANB	84.67	a	TANB	84.33	a
TAEB	83.92	B	TAEB	83.50	b
TAEG	83.75	C	TANG	83.08	C
TANG	82.75	d	TAEG	81.42	d

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Discusión de Resultados

El protocolo empleado para evaluar los atributos sensoriales del café en taza se basó en la metodología de catación desarrollada por la Specialty Coffee Association of America (SCAA). Esta metodología permitió identificar, distinguir y segmentar las características del café en taza, como se observa en las Tablas

1, 2 y 3. Las diferencias significativas encontradas en las puntuaciones de los catadores reflejan no solo las propiedades del café, sino también la percepción subjetiva de cada catador, enriquecida por sus experiencias y preferencias personales. Esta percepción individual influye en la apreciación de atributos específicos de cada variedad, tales como aroma/fragancia, sabor, posgusto, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor y apariencia general. Estos atributos contribuyeron a definir el perfil de cada infusión, mostrando cómo los tratamientos aplicados al café, como la fermentación aeróbica y anaeróbica y las variedades Geisha y Bourbon, pueden presentar características específicas. Esta diversidad respalda la significancia observada en las comparaciones entre tratamientos.

Cabe destacar que la preferencia por el café es altamente personal, y factores culturales y geográficos también afectan las elecciones de los consumidores, lo cual añade complejidad a la definición de la calidad en taza. Como indican Leroy et al. (2006), las preferencias del consumidor pueden variar según la región de origen, lo que dificulta aún más una estandarización de los atributos de calidad. Además, según Wintgens (2004), el sabor del café tostado contiene más de 800 compuestos aromáticos, lo que explica las variaciones en la percepción de sabor entre diferentes personas. Otros factores, como la fecha de recolección, el método de procesamiento y las condiciones de almacenamiento, podrían haber influido en las diferencias observadas entre tratamientos, aunque estos factores no fueron medidos en este estudio.

Las características organolépticas de las muestras variaron, como se muestra en la Tabla 3. En términos generales, los atributos de acidez, posgusto y cuerpo recibieron puntuaciones más bajas, lo cual tiende a resultar en una calificación inferior para las variedades Geisha y Bourbon en estos aspectos, como señalan Prakash et al. (2005). No obstante, en otros atributos, estos tratamientos alcanzaron una calificación superior. En total, el 81% de los resultados tuvo una calidad promedio en los atributos de cuerpo, posgusto y acidez, mientras que el 19% obtuvo una calificación superior, como se aprecia en las Figuras 3, 4, 5 y 6.

La mayoría de los atributos evaluados mostraron correlaciones positivas y significativas entre sí, como se detalla en la Tabla 8, lo que sugiere una oportunidad para mejorar varios caracteres organolépticos deseables de manera simultánea. La calidad general de la taza mostró una fuerte correlación con el balance, con un coeficiente R^2 de 0.9679. Otras correlaciones incluyeron: aroma/fragancia ($R^2 = 0.9523$), sabor ($R^2 = 0.9226$), posgusto ($R^2 = 0.7312$), acidez ($R^2 = 0.7187$), cuerpo ($R^2 = 0.7264$), uniformidad ($R^2 = 0.9612$), balance ($R^2 = 0.9223$), taza limpia ($R^2 = 0.9387$), dulzor ($R^2 = 0.9176$) y apariencia general ($R^2 = 0.9412$). Estos resultados destacan la importancia de la acidez, el cuerpo y el posgusto, que son factores cruciales en la percepción de calidad para los consumidores, posicionándolos como atributos prioritarios para mejorar en términos organolépticos del café. Estos hallazgos coinciden con el análisis realizado bajo los estándares de la SCAA.

El atributo de aroma/fragancia, en cambio, mostró menor variabilidad en comparación con otros aspectos. En este estudio, el aroma no tuvo correlación significativa con acidez o dulzor, a pesar de que Moschetto et al. (1996) encontraron correlaciones lineales entre acidez y aroma en cafés comerciales. En la variedad Maresellesa, se observaron valores elevados de balance y posgusto, aunque la acidez fue menos destacada. Cabe mencionar que, aunque este estudio no abarca específicamente la influencia del área de cultivo y la altitud, estos factores también afectan la calidad organoléptica del café. Decazy et al. (2003) encontraron que la alta calidad sensorial del café suele asociarse a una mayor altitud, lo cual podría ser útil para la selección de genotipos con altos niveles de acidez (Leroy et al., 2006b).

Por otro lado, la variedad Geisha de la zona de San Ignacio presentó niveles de acidez significativamente menores y fue percibida como más dulce en comparación con la variedad Bourbon. Investigaciones de Bertrand et al. (2006) y Dessalegn et al. (2008) sugieren que una selección orientada hacia mayor vigor y tamaños de semilla más grandes en híbridos y tipos comerciales podría haber contribuido a una menor variabilidad en los niveles de acidez y dulzor en el café.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se concluyó que los tratamientos evaluados muestran diferencias estadísticamente significativas al comparar los efectos de la fermentación aeróbica y anaeróbica sobre la calidad física y organoléptica del café (*Coffea arabica*) en las variedades Geisha y Bourbon. En lo que respecta a la calidad física, se destacó el tratamiento con fermentación aeróbica en la variedad Geisha (TAEG) en el parámetro de Rendimiento Exportable. Por otro lado, en los atributos de Café de Segunda y Humedad, el tratamiento más favorable fue el de fermentación anaeróbica en la variedad Bourbon (TANB). En términos de calidad sensorial, la fermentación anaeróbica aplicada a la variedad Bourbon (TANB) resultó ser el tratamiento más destacado.

Para evaluar la calidad física del café, se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, analizando los atributos de Rendimiento Exportable, Café de Segunda y Humedad bajo los procesos de fermentación aeróbica y anaeróbica en las variedades Geisha y Bourbon. Se trabajó con una combinación de cuatro tratamientos (TAEG, TAEB, TANG y TANB), de los cuales el tratamiento con fermentación aeróbica para la variedad Geisha (TAEG) obtuvo el mayor puntaje promedio en Rendimiento Exportable, con un valor de 78.20. Para el Café de Segunda, el tratamiento con mejores resultados fue la fermentación anaeróbica en la variedad Bourbon (TANB), con un puntaje promedio de 3.22. En el caso de la Humedad, la fermentación anaeróbica en la variedad Bourbon también mostró el mejor desempeño, con una calificación promedio de 13.17.

Para la determinación de la calidad organoléptica, se aplicaron los mismos cuatro tratamientos (TAEG, TAEB, TANG y TANB), y las evaluaciones fueron realizadas por cinco catadores entrenados. Los atributos evaluados incluyeron Aroma/Fragancia, Sabor, Posgusto, Acidez, Cuerpo, Uniformidad, Balance, Taza Limpia, Dulzor, Apariencia General y el Puntaje Final asignado por cada catador

en triplicado. El análisis de varianza (ANOVA) mostró significancia en el modelo con un p-valor < 0.0001 . Tanto el factor A (tipo de fermentación) como el factor B (variedad de café) también resultaron significativos, con p-valores de 0.0001 y 0.0205, respectivamente, mientras que la interacción entre ambos factores (A \times B) tuvo un p-valor de 0.0205, indicando significancia estadística al ser menor a 0.05.

Además, en la prueba de comparación múltiple de Tukey, los cinco catadores coincidieron en otorgar el puntaje más alto al tratamiento de fermentación anaeróbica en la variedad Bourbon (TANB), con promedios de 80.00, 84.33, 84.25, 84.67 y 84.33 para cada catador. Estos resultados subrayan la influencia positiva de la fermentación anaeróbica en la variedad Bourbon sobre la calidad sensorial, reflejando la consistencia en las valoraciones de los catadores y la preferencia por este tratamiento en particular.

4.2. Recomendaciones

- Evaluar diferentes condiciones de fermentación en el procesamiento del café utilizando otras variedades para un análisis comparativo de calidad. Ampliar el estudio a distintas condiciones de fermentación y otras variedades de café permitiría comprender cómo factores adicionales, como el tiempo de fermentación y la temperatura, interactúan con diferentes genotipos del café. Este enfoque permitiría establecer comparaciones más amplias y robustas sobre el impacto del proceso de fermentación en la calidad física y sensorial del café, y podría ayudar a identificar variedades que optimicen atributos específicos.
- Comparar la calidad del café en taza de cultivos a diferentes altitudes de cosecha

La altitud es un factor crucial que influye en la calidad sensorial del café, afectando atributos como la acidez y el cuerpo. Realizar estudios comparativos en cafés cultivados a distintas altitudes permitiría evaluar cómo la elevación impacta el perfil organoléptico y físico del grano. Esta información puede ayudar a identificar altitudes óptimas para maximizar los atributos de calidad en variedades específicas.

- Incorporar otros parámetros de evaluación de calidad física empleando diferentes diseños estadísticos. Explorar parámetros adicionales de calidad física, tales como el tamaño del grano, su densidad, color y dureza, utilizando diferentes modelos estadísticos, permitiría obtener una visión más detallada del impacto del procesamiento sobre la calidad del café. Alternativas de diseño, como modelos factoriales o bloques al azar, podrían aportar una mayor precisión en la identificación de los factores que afectan la calidad física del grano.
- Aumentar el número de tratamientos, repeticiones y catadores para mejorar la exactitud y precisión en las evaluaciones sensoriales. Incrementar el número de tratamientos y repeticiones, así como ampliar el grupo de catadores, contribuiría a obtener resultados más sólidos y estadísticamente representativos. Esto permitiría una evaluación sensorial más precisa y confiable, reduciendo la variabilidad y aumentando la exactitud en las puntuaciones, lo cual es especialmente útil en el análisis de calidad en café de especialidad.

Referencias

- [1] Junta Nacional de Cafe, «www.juntadelcafe.org.pe,» 23 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://juntadelcafe.org.pe/informe-anual-de-cafe-en-peru-realizado-por-el-departamento-de-agricultura-de-eeuu/#:~:text=El%20consumo%20de%20caf%C3%A9%20per,donde%20supera%20los%20cuatro%20kilogramos.&text=El%20consumo%20interno%20de%20caf%C3%A9,10%25%20de>.
- [2] Gobierno Regional de Cajamarca, «Regioncajamarca.gob.pe,» 11 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/425>.
- [3] S. G. POSADA, «QUECAFE.INF,» 17 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://quecafe.info/fermentacion-del-cafe-calidad-en-taza/>.
- [4] Andina, «Andina.pe,» 27 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-cafe-peruano-llega-a-44-mercados-internacionales-e-impulsan-mayor-consumo-811545.aspx>.
- [5] International Coffee Organization, «www.ico.org,» 29 Mayo 2009. [En línea]. Available: http://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp.

- [6] Carlos Diaz y Mieke Willems, «Linea base del sector cafe en el Peru,» 2017.
- [7] Camara Peruana de cafe y cacao, «www.camcafeperu.com.pe,» 19 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://camcafeperu.com.pe/ES/cafe-peru.php>.
- [8] World Coffee Research, «Catalogo de variedades,» 2018. [En línea]. Available: <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/varieties>.
- [9] Agrobanco, «<https://www.agrobanco.com.pe>,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/011-k-cafe.pdf>.
- [10] PERFECT DAILY GRIND, «www.PERFECT DAILY GRIND.com,» 2 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/07/02/fermentacion-que-es-como-mejora-la-calidad-del-cafe/>.
- [11] Junta nacional del cafe, «www.juntadelcafe.org.pe,» 2019. [En línea]. Available: <https://juntadelcafe.org.pe/cafe-especiales/#:~:text=El%20caf%C3%A9%20especial%20es%20cultivado,est%C3%A1n%20considerados%20como%20caf%C3%A9s%20especiales..>
- [12] R. Rhinehart, «<https://rutadelcafeperuano.com>,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://rutadelcafeperuano.com/2018/03/27/que-es-un-cafe-especial/>.
- [13] Cafés del Perú, «Cafes del Peru,» 15 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://peru.info/es-pe/cafesdelperu/acerca-de>.
- [14] Iso 6668, «iso.org,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/44609.html>.
- [15] Andina, «Andina.pe,» 25 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-es-segundo-exportador-cafe-organico-del-mundo-764610.aspx>.
- [16] Minagri, «www.minagri.gob.pe,» 2014. [En línea]. Available: <http://minagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano#:~:text=El%20Caf%C3%A9%20es%20el%20primer,harina%20de%20pescado%2C%20entre%20otros..>
- [17] Camara de cafe y cacao, «Camara Peruana del Cafe y Cacao,» 2020. [En línea]. Available: <https://camcafeperu.com.pe/ES/proyecto-cafe-clima.php>.
- [18] Andina, «Andina.pe,» 2020. [En línea]. Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-cafe-peruano-llega-a-44-mercados-internacionales-e-impulsan-mayor-consumo-811545.aspx>.

ANEXOS

Tabla de valores críticos de Tukey
 $q_{\alpha}(v_1, v_2)$

v_2 I	α I	v_1									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.05	18.00	29.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.40	47.36	49.07	50.59
	0.01	90.03	135.0	164.3	185.6	202.2	215.8	227.2	237.0	245.6	253.2
2	0.05	6.10	8.33	9.80	10.88	11.74	12.44	13.03	13.54	13.99	14.39
	0.01	14.04	19.02	22.29	24.72	26.63	28.20	29.53	30.68	31.69	32.59
3	0.05	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72
	0.01	8.26	10.62	12.17	13.33	14.24	15.00	15.64	16.20	16.69	17.13
4	0.05	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.34	7.60	7.83	8.03
	0.01	6.51	8.12	9.17	9.96	10.58	11.10	11.55	11.93	12.27	12.57
5	0.05	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17
	0.01	5.70	6.97	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24	10.48
6	0.05	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65
	0.01	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10	9.30
7	0.05	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30
	0.01	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55
8	0.05	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05
	0.01	4.74	5.63	6.20	6.63	6.96	7.24	7.47	7.68	7.87	8.03

Anexo 1. Ficha de cata de café del SCAA



La Asociación de Cafés Especiales de América - Formulario de Catación

Nombre: _____

Fecha: _____ Mesa: _____ Sesión: _____

Clasificación:			
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

Muestra #	Nivel de Tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	Acidez	Cuerpo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Suma
M1		Total: _____ Fragancia/Aroma	Total: _____ Sabor	Total: _____ Acidez	Total: _____ Cuerpo	Total: _____ Uniformidad	Total: _____ Taza Limpia	Total: _____ Puntaje Catador	Suma
		Seco: _____ Cualidades: _____ Espuma: _____	Total: _____ Sabor Residual	Intensidad: _____ Alto Bajo	Intensidad: _____ Alto Bajo	Total: _____ Balance	Total: _____ Dulzura	Defectos (Sustraer) Ligero=2 # Tazas Intensidad Rechazo=4 <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> =	
Notas: _____									Puntaje Final

Muestra #	Nivel de Tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	Acidez	Cuerpo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Suma
M2		Total: _____ Fragancia/Aroma	Total: _____ Sabor	Total: _____ Acidez	Total: _____ Cuerpo	Total: _____ Uniformidad	Total: _____ Taza Limpia	Total: _____ Puntaje Catador	Suma
		Seco: _____ Cualidades: _____ Espuma: _____	Total: _____ Sabor Residual	Intensidad: _____ Alto Bajo	Intensidad: _____ Alto Bajo	Total: _____ Balance	Total: _____ Dulzura	Defectos (Sustraer) Ligero=2 # Tazas Intensidad Rechazo=4 <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> =	
Notas: _____									Puntaje Final

Muestra #	Nivel de Tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	Acidez	Cuerpo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Suma
M3		Total: _____ Fragancia/Aroma	Total: _____ Sabor	Total: _____ Acidez	Total: _____ Cuerpo	Total: _____ Uniformidad	Total: _____ Taza Limpia	Total: _____ Puntaje Catador	Suma
		Seco: _____ Cualidades: _____ Espuma: _____	Total: _____ Sabor Residual	Intensidad: _____ Alto Bajo	Intensidad: _____ Alto Bajo	Total: _____ Balance	Total: _____ Dulzura	Defectos (Sustraer) Ligero=2 # Tazas Intensidad Rechazo=4 <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> =	
Notas: _____									Puntaje Final

Fuente: SCAA

ANEXO 2: Formato de análisis físico de café.

