

Influencia de las condiciones ambientales y tiempo de fermentación aerobia sobre la calidad del café (*Coffea arabica* L.) var. *Catucaí*

Álvarez, Alexander¹, Mastrocola, Nicola¹, Tello Hidalgo, Edgar Gabriel¹, y Torres, Duilio^{1,2}

1 Universidad Central del Ecuador (Ecuador)

2 Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado (Venezuela)
@ gabriel.telloh@gmail.com

Recibido: 08/01/2024

Aceptado: 04/05/2024

Resumen. Durante el proceso de fermentación, las levaduras y las bacterias descomponen los azúcares que dan al café su sabor único. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar si el tiempo de fermentación aeróbica en dos condiciones ambientales, específicamente en granos de café despulpados de la variedad *Catucaí* (*Coffea arabica* L.), tiene un efecto sobre la calidad del café en taza. Para ello se estudiaron variables como el pH del medio de fermentación, así como el resultado obtenido en las catas de bebidas. Los principales resultados muestran que la temperatura ambiente afecta las condiciones de fermentación cuando llega los 18,3 °C, provocando una disminución del pH y por ende de la fermentación láctica. Al analizar los puntajes de fusión, se encontró que el tiempo óptimo de fermentación se logró a las 16 horas en ambiente de invernadero con un valor de 79,25, el cual se considera "bueno" según los estándares de la Asociación de Cafés Especiales. A pesar de estos tratamientos, la variedad no logró obtener un resultado satisfactorio como consecuencia de un inadecuado manejo nutricional y fitosanitarios del cultivo, que disminuyeron la calidad de la bebida de café, con puntajes inferiores a los 80 puntos.

Palabras clave: acidez; beneficio; catación; temperatura; pH.

Abstract. Influence of environmental conditions and aerobic fermentation time on the quality of coffee (*Coffea arabica* L.) var. *Catucaí*. During the fermentation process, yeasts and bacteria break down the sugars that give coffee its unique flavor. Therefore, the purpose of this study was to determine if the aerobic fermentation time in two environmental conditions, specifically in pulped coffee beans of the *Catucaí* variety (*Coffea arabica* L.), has an effect on the quality of the cup coffee. To do this, variables such as the pH of the fermentation medium were studied, as well as the results obtained in beverage tastings. The main results show that ambient temperature affects fermentation conditions when it reaches 18.3 °C, causing a decrease in pH and therefore lactic fermentation. When analyzing the melting scores, it was found that the optimal fermentation time was achieved at 16 hours in a greenhouse environment with a value of 79.25, which is considered "good" according to the standards of the Specialty Coffee Association. Despite these treatments, the variety was not able to obtain a satisfactory result as a consequence of inadequate nutritional and phytosanitary management of the crop, which decreased the quality of the coffee drink, with scores lower than 80 points.

Key words: acidity; benefit; cupping; temperature; pH.

INTRODUCCIÓN

El café es una bebida que contribuye a la longevidad, protege contra padecimientos neurodegenerativos (Panza et al., 2015), figurando como una de las tres bebidas más consumidas en el mundo (Salazar et al., 2019), además es el segundo producto global más comercializado, después del petróleo (Lee et al., 2015), mostrándose como un mercado rentable para incursionar. Sin embargo, debido a que el mercado mundial del café es altamente competitivo, se requiere una mejora notablemente en la calidad del producto ofertado, para competir con éxito en el mismo, por lo que es necesario optimizar los procesos de beneficio del grano de café, dentro del cual se incluye el proceso de fermentación.

Para incrementar la producción de café, mejorar la calidad del producto y fomentar el ingreso a los mercados extranjeros, se plantearon cambios del método de postcosecha de este rubro (Pazmiño y Ruiz, 2023). El propósito de esta metodología es incorporar a más productores en las cadenas de valor, con el fin de facilitar una óptima gestión del conocimiento relacionada con la fermentación del café (Sanz-Uribe y

Cómo citar este trabajo:

Álvarez, A., Mastrocola, N., Tello Hidalgo, E. G. y Torres, D. (2024). Influencia de las condiciones ambientales y tiempo de fermentación aerobia sobre la calidad del café (*Coffea arabica* L.) var. *Catucaí*. *Semiárida*, 34(2), 31-42.

Velázquez-Henao, 2022), con la finalidad de lograr mejorar la calidad en la taza, evidenciada por puntuaciones más elevadas durante el proceso de catación y, en consecuencia, generar valor agregado del producto.

Con la finalidad de mejorar la calidad del café, se investiga como la fermentación es un proceso crucial que influye en las características distintivas de la bebida, aportando al aroma y sabor que otorgan singularidad, calidad y valor a la taza de café (Vásquez et al., 2021). El cual de acuerdo a Mejía y Arguello (2000), es un proceso que busca eliminar la pulpa mucilaginoso que protege el grano, provocar la muerte del embrión para impedir la germinación y conducir a reacciones bioquímicas que se traducen en un aumento de volumen, aparición del color pardo, disminución del sabor amargo y de la astringencia, permitiendo de esta manera el desarrollo de los precursores del aroma y por lo tanto mejorando la calidad del café como consecuencia de la oxidación del mucílago por la acción de los microorganismos.

Peñuela y Sanz (2021) afirman que la fermentación afecta de forma significativa en la formación de defectos físicos y en taza, por lo que se hace necesario disponer de un conjunto de prácticas que deben aplicarse con el fin de disminuir este riesgo mediante un adecuado proceso de beneficiado. Sin embargo, Lanuza et al. (2023) señalan que, la calidad del café no solo está influenciada por el proceso de fermentación sino también por diversos factores como las condiciones climáticas y altitudinales, el tipo de suelo, el manejo agronómico, la cosecha, el lavado, el secado y la variedad.

En este contexto, la investigación analizó los tiempos de fermentación en el café de la variedad Catucaí en el cantón Morona, cuyo objetivo principal fue determinar la influencia del entorno e identificar el tiempo óptimo para alcanzar calificaciones en catas superiores a 80/100 puntos, requisito esencial para ser considerado café de especialidad y, por ende, establecer un mejor precio del saco (Ramos Cotacallapa et al., 2019), lo cual busca beneficiar a los productores de café en la región.

Para potenciar mejores puntuaciones durante la catación, se debe emplear un protocolo de postcosecha basado en el beneficiado húmedo, que incluye la eliminación del pericarpio de la cereza del café, dejando una capa gelatinosa llamada mucílago adherida al grano. Posteriormente, el café experimenta un proceso de fermentación, seguido de lavados para eliminar el mismo (Cañarte-Vélez et al., 2021). En este procedimiento, los microorganismos desencadenan la fermentación natural, lo que conlleva a la acumulación de azúcares y a una disminución del pH (Galarza y Figueroa, 2022), que contribuye al mejoramiento natural de los atributos sensoriales, como aroma, sabor, textura y color (organolépticos), mediante la formación de ácidos orgánicos (Elhalis et al., 2023).

A pesar de este beneficio, los técnicos caficultores, en aras de optimizar el proceso de fermentación, centran su análisis en la duración del proceso, un aspecto crucial en el beneficio del café. Esto se debe a que someter el grano a periodos prolongados puede generar defectos en la taza, mientras que un tiempo de fermentación insuficiente puede resultar en sabores y aromas descompensados (Wang et al., 2022), lo que mejora la calidad del café cuya calidad mejora su valor en el mercado internacional, trayendo beneficios económicos para los productores.

Por tanto, es crucial tener en cuenta las condiciones climáticas de la región, así como la calidad de la variedad, evaluando factores como los grados Brix y el llenado de la fruta para definir el tiempo de fermentación más adecuado. Este enfoque busca discernir si la variedad puede someterse a procesos de fermentación prolongados o más simples, según sus propias particularidades (Martínez et al., 2021). Considerando que el tiempo de fermentación aerobia en diversos entornos varía según algunos atributos inherentes a la variedad de café, como en el caso del café Catucaí, donde la resistencia moderada a la roya, tolerancia a la oxidación, maduración temprana, influyen sobre la calidad de bebida al lograrse una alta productividad en cosechas consecutivas (da Mota et al., 2020), lo cual se determina al correlacionar el efecto del tiempo de fermentación sobre los cambios en el pH, grados Brix y puntaje del café en la catación.

Dada la importancia de mejorar la calidad del café ecuatoriano la cual depende no solo del manejo agronómico, la selección de la variedad, sino del proceso de fermentación, el cual debe ser eficiente para lograr un producto de alta calidad. Es por ello que en este estudio se cuantificó la influencia del tiempo de fermentación y de las condiciones ambientales sobre los cambios en la calidad de la variedad Catucaí en taza, bajo diferentes condiciones de fermentación.

METODOLOGÍA

Ubicación de sitio experimental y toma de muestra

La investigación se realizó en la fundación ATASIM, ubicada en la provincia de Morona Santiago, cantón Morona, parroquia San Isidro - Ecuador, a una altitud de 1167 metros y una longitud - 78.166698° y latitud -2.209102° (ATASIM, 2019). Los datos climatológicos fueron tomados de los anuarios meteorológicos (INAMHI, 2020) del cantón Macas ubicado en la provincia de Morona Santiago, observando una temperatura promedio anual de 22,3 °C, precipitación promedio anual de 2600 mm y humedad relativa anual de 86 %. En esta unidad experimental, se tomó una muestra compuesta de 5 kilogramos de granos de café, de los cuales se recogieron 25 granos como una muestra representativa para evaluar características de madurez y grados brix.

Diseño experimental y descripción de los tratamientos

El experimento se compuso de 21 unidades experimentales con el propósito de establecer una distribución de cada una. Cada unidad experimental consistió en dos ambientes, tres intervalos de tiempo y un testigo agricultor. El diseño experimental fue completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial (2*3) y la adición del testigo agricultor. Los factores evaluados incluyeron los dos ambientes de fermentación, los intervalos de tiempo en horas (16, 20, 31) y el grupo de control representado por el testigo agricultor (condiciones en las que el caficultor beneficia su café).

El diseño experimental comprendió un total de 21 muestras (Tabla 1), y se rigió por las variables de calidad establecidos por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN). Para llevar a cabo esta fase, se acondicionaron 21 fundas Grainpro, cada una de las cuales fue debidamente etiquetada según la nomenclatura detallada en la Tabla 2. Estas fundas Grainpro contenían 5 kilogramos de cereza cada una, sumando un peso total de 105 kilogramos. Se adoptó la metodología propuesta por García (2013), Puerta y Echeverry (2015).

Se realizó la evaluación de tres tiempos de fermentación con dos ambientes y un testigo (agricultor) para la variedad de café Catucaí, el testigo agricultor hace referencia a las condiciones en las cuales los caficultores normalmente realizan el proceso de beneficiado del café. Además, se realizaron las evaluaciones respectivas para determinar los puntajes de catación de cada muestra, la cual se planteó dos ambientes para la fase experimental con un testigo agricultor. El primer tratamiento se desarrolló a temperatura ambiente, el segundo tratamiento se realizó dentro de la marquesina (temperatura promedio 30 °C) y un testigo agricultor, se realizaron tres observaciones.

Además del ambiente de fermentación, se evalúa el tiempo para la realización de la misma, considerando para ello la experiencia adquirida en el proceso de fermentación artesanal por parte de la fundación ATASIM, por lo que se propuso inicialmente un período de 16 horas (T1). El objetivo fue evaluar los cambios en valores de pH como influencia de las condiciones del entorno local y evaluar la calidad del beneficiado húmedo obtenido durante este intervalo. El segundo

Material	Unidad
Fundas Grainpro del experimento	21
Peso total fermentado	105 kilogramos
Peso por Funda Grainpro	5 kilogramos
Peso café pergamino seco para catación	0,350 kilogramos

Tabla 1. Características de la unidad experimental para la fermentación de café.

Table 1. Characteristics of the experimental unit for coffee fermentation.

periodo de fermentación sigue las pautas de García (2013) y Puerta (2012), quienes indican que, en un tiempo de 20 horas (T2) de fermentación, con temperaturas en torno a los 20 °C y un pH no inferior a 3,5 se produce la formación de ácido acético y un aroma achampañado. Este proceso resulta en sabores que evocan frutos rojos y cítricos, contribuyendo así a mejorar la calidad del café en taza.

Adicionalmente, el tercer intervalo de 31 horas (T3) se fundamenta en el beneficio húmedo que se lleva a cabo en Brasil, de donde proviene el material genético de café empleado en el ensayo, donde se observa que las levaduras predominantes utilizan los azúcares que reducen el pH del medio, consumiendo el mucílago y llevando a la activación de enzimas localizadas dentro del tejido seminal como endoproteasa aspártica y una serina carboxipeptidasa que le aporta una serie de ventajas al grano de café (Schwan y Fleet, 2015), dado que su calidad mejora, si se garantiza que los pH superen 3.5, evitando la aparición de bacterias ácido lácticas o ácido acéticas que generen condiciones contraproducentes para el crecimiento de las levaduras (Kennes et al., 1991).

Por otro lado, se evaluó el periodo de doce horas de fermentación, el cual es recomendado por el Ministerio de Agricultura a los productores cafetaleros locales, designándose como el grupo de control agricultor. El propósito de esta evaluación fue analizar la naturaleza del beneficio producido durante este intervalo, dado que la mayoría de los productores de la región siguen estas directrices. Los factores evaluados, tanto en términos de entorno como de duración de la fermentación, se detallan en la Tabla 2.

Manejo del experimento

Ambientes de fermentación	Periodos de evaluación
(AMB1)	16 horas (T1)
(AMB1)	20 horas (T2)
(AMB1)	31 horas (T3)
(AMB2)	16 horas (T1)
(AMB2)	20 horas (T2)
(AMB2)	31 horas (T3)
Testigo Agricultor	12 horas

Tabla 2. Tratamientos (Interacción tipos de fermentación*Ambiente*tiempo*periodo).

Table 2. Treatments (Fermentation types interaction * Environment * time * period).

Para llevar a cabo el experimento se hicieron prácticas agronómicas, típicas del beneficio del café como despulpado, fermentación, lavado y secado las cuales se describen a continuación.

En primer lugar, para el despulpado las cerezas maduras, consideradas óptimas, fueron sometidas a un lavado meticuloso durante media hora con el fin de eliminar cualquier agente externo como hojas, ramas, flores, insectos y heces de pájaros. Este procedimiento se llevó a cabo con el propósito de reducir la probabilidad de contaminación en el medio de fermentación debido a estas impurezas. Utilizando una balanza, se midieron con precisión 5 kilogramos de cerezas, los cuales fueron posteriormente colocados en una funda Grainpro debidamente etiquetada para dar inicio al proceso de fermentación.

Después de haber dispuesto los granos despulados en cada funda, se llevó a cabo la medición de la temperatura y del pH del medio de fermentación cada 4 horas. Simultáneamente, se registraron los olores emanados durante el proceso de fermentación. Los granos que completaron su tiempo de fermentación fueron transferidos a una tina con capacidad para 100 libras (45,45 Kg). Luego, se dispuso el grano lavado en camas de secado ubicadas dentro de la marquesina, siguiendo un orden aleatorio para preservar la independencia estadística de cada muestra.

Finalmente, para cuantificar las variaciones en la calidad del café en función del ambiente y tiempo de fermentación se realizó un proceso de catación, el cual se describe a continuación. Para ello las muestras fueron remitidas al especialista en catación, quien llevó a cabo la medición de la

humedad y procedió a la trilla del café verde para obtener café oro. Una vez obtenido el café oro, se realizaron pruebas físicas que incluyeron la medición de la densidad del grano y la determinación del porcentaje de granos brocados, así como la identificación de defectos físicos como granos pestilentes, granos averanados o granos mohosos.

Para llevar a cabo una evaluación técnica y profesional, las muestras fueron enviadas a un Catador certificado con la distinción Q-Grader, que lo acredita como un experto en catación. Este especialista se encargó de medir tanto los parámetros físicos como degustativos para cada taza, asignando un puntaje sobre cien a cada muestra. Estos puntajes determinaron la calidad tanto de la variedad como del proceso de fermentación, clasificando las muestras en la categoría de café comercial o café especial. Este último, caracterizado por una alta calidad, tiende a obtener precios más elevados en el mercado, según la Asociación de Café de Especialidad SCA (2020).

La catación de las 21 muestras se llevó a cabo conforme a la Guía Metodológica de Catación Móvil de Café (Torres et al., 2017), utilizando la escala propuesta por la Asociación de Café de Especialidad. Este enfoque garantiza que las muestras mejor calificadas obtengan un precio más favorable en el mercado del café, siguiendo los estándares de calidad establecidos por la industria.

Variables evaluadas y análisis de los datos

Los cambios en la calidad del café detectados durante la catación, obedecieron a cambios en algunas variables químicas que se producen en función de las variaciones del ambiente de fermentación y de la duración de la misma, siendo el pH la variable que es más afectada por los cambios durante la fermentación del grano del café.

Siguiendo un orden aleatorizado y con el objetivo de garantizar independencia estadística, se realizaron mediciones del pH del medio de fermentación cada cuatro horas utilizando un potenciómetro. Estos datos fueron empleados para corroborar, en conjunto con la literatura, los puntos óptimos de fermentación y la etapa de acidez correspondiente, según lo indicado por García (2013).

Una vez medido el pH, se realizó el análisis de los datos obtenidos y en el caso de detectar diferencias estadísticas significativas entre los efectos de los tratamientos, se llevaron a cabo comparaciones de media mediante prueba de DMS con un nivel de confianza del 95 % para ambientes y periodos de evaluación. Para las interacciones, se utilizó la prueba de Tukey también con un nivel de confianza del 95 %. Dada la naturaleza subjetiva de la catación como una prueba sensorial, se la clasifica como una medición subjetiva. Por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, ideal para diseños completamente al azar. Esta prueba se empleó con el propósito de analizar los puntajes de catación. En caso de que los resultados fueran significativos o altamente significativos, se llevó a cabo la prueba de comparación de medias no paramétricas.

RESULTADOS

Los hallazgos encontrados se analizaron según el cambio del pH en función del ambiente de fermentación y el tiempo de duración de la misma, dado que se relaciona con cambios en las características organolépticas del café, particularmente los grados Brix y por ende en la valoración del mismo. Durante el proceso de catación en este resultado lo primero que se evaluó fue la interacción de ambiente por tiempo de fermentación y su influencia sobre el pH cuyos resultados se observan en la Tabla 3.

Evaluación del pH en función de interacción ambiente*tiempo de fermentación

Los resultados del ANAVAR muestran que existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) para la interacción del ambiente por el tiempo de fermentación observando que, a las 16 horas y 31 horas, el valor de pH fue más elevado en la fermentación a temperatura medio ambiental, pero a las 20

Ambiente/Periodo de evaluación	16 horas	20 horas	31 horas
De la Zona	3,52 A	3,16 B	3,78 A
Invernadero tipo Marquesina	2,81 B	2,46 C	2,35 B
Agricultor	3,15 AB	4,71 A	1,22 C

Letras diferentes muestran diferencias, P<0,05

Tabla 3. Cambios en el pH en función de la interacción ambiente*tiempo de fermentación.

Table 3. Changes in pH as a function of the environment*fermentation time interaction.

horas esta se logró bajo las condiciones de fermentación del agricultor. En todos los casos esta variación en los valores de pH se encontró en el invernadero debido a un incremento de la temperatura, lo que está asociado a las variaciones en la calidad del café, como se discute posteriormente.

Así mismo se observa que existe una relación entre los cambios en el pH y la temperatura durante el proceso de fermentación (Figura 1), donde se puede ver que al incrementar la temperatura

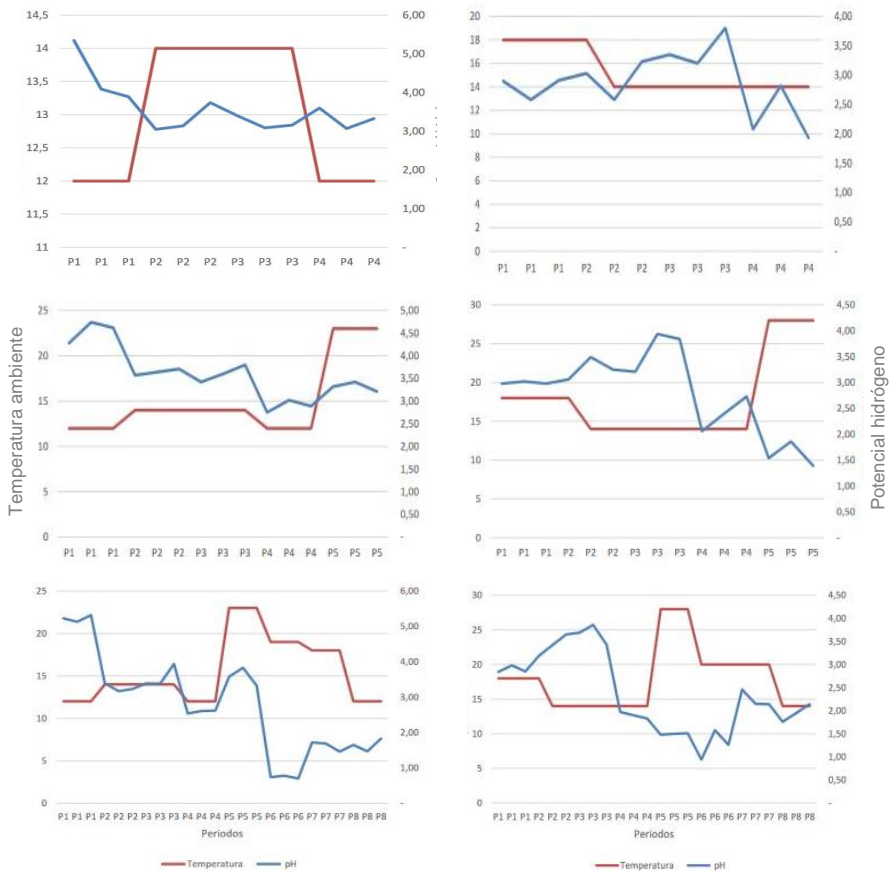


Figura 1. Relación entre las variaciones del pH y cambios de temperatura durante la fermentación del café bajo diferentes condiciones ambientales.

Figure 1. Relationship between pH variations and temperature changes during coffee fermentation under different environmental conditions.

disminuyen los grados Brix, pero cuando las condiciones ambientales permiten mantener temperaturas por debajo de 18 °C, este proceso de deterioro de la calidad organoléptica del café, no ocurre.

Cambios en el pH en función del ambiente de fermentación

Aunque la interacción evaluada da una tendencia, es importante para lograr un manejo adecuado del proceso de beneficio del café, seleccionar el sitio ideal para la fermentación que logre un pH que garantice la calidad del producto final, en este sentido se compararon tres ambientes de fermentación, en los cuales se muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) según el ANAVAR, encontrando que los valores de pH fueron estadísticamente más altos cuando se fermentó a temperatura ambiente o bajo las condiciones de fermentación del agricultor en comparación a los valores de pH en el invernadero los cuales se redujeron considerablemente, como se observa en la Figura 2a.

Cambios en el pH en función del tiempo de fermentación

Otro factor que incide en los cambios organolépticos evidenciados por el cambio en el pH además de ambiente que influye sobre la temperatura es el tiempo de fermentación, en ese sentido se compararon 3 tiempos de fermentación (16, 20 y 31 horas), observando que a mayor tiempo de fermentación más brusca es la reducción del pH, lo que obviamente afecta los atributos del café, siendo el tiempo para la fermentación el de 16 horas como se observa en la Figura 2b.

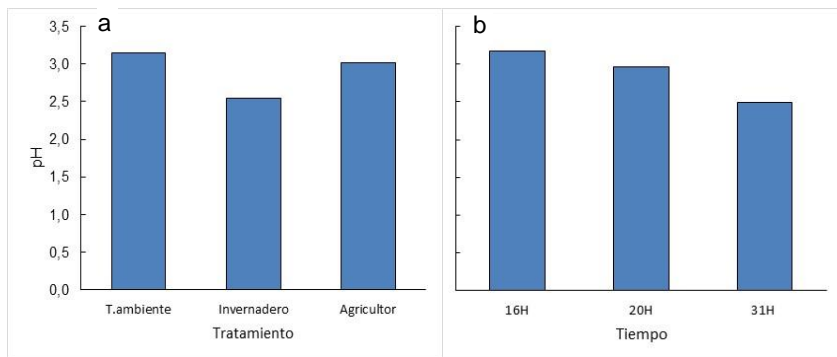


Figura 2. Cambios en el pH. a: en función del ambiente de fermentación. b: en función del tiempo de fermentación

Figure 2. Changes in pH. a: depending on the fermentation environment. b: depending on the fermentation time.

Evaluación de los puntajes de cataciones de café (Coffea arabica L.) var Catucaí

De acuerdo con el análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis, el valor del estadístico de prueba ($P < 0,01$) indica un efecto de tratamientos altamente significativo, lo que implica que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Posteriormente, al aplicar una prueba de comparación de rangos no paramétricos, se confirma que los tratamientos que difieren entre sí son aquellos asociados al tratamiento AMB2-T1 (Invernadero tipo marquesina y 16 horas). Este tratamiento exhibió el puntaje más alto en la catación, alcanzando 79,25/100. En contraste, el tratamiento testigo (Agricultor) registró los valores más bajos con un puntaje de 76/100, como se detalla en la Tabla 4.

Ambientes	Tiempos	R1	R2	R3
AMB1	T1	77	77	77
AMB1	T2	77,25	77,25	77,25
AMB1	T3	77	77	77
AMB2	T1	79,25	79,25	79,25
AMB2	T2	78	78	77
AMB2	T3	78,5	78,5	78,5
Testigo agricultor		76	76	76

Tabla 4. Cuadro resumen de resultados de los puntajes de catación.

Table 4. Summary table of results of the cupping scores.

La valuación de la calidad de los tratamientos en función del ambiente y tiempo de fermentación, fue determinada en función de los parámetros considerados en la tabla 5, los cuales hacen referencia a la fragancia, sabor, sabor residual, acidez cuerpo, balance, uniformidad, tasa limpia, dulzor, además de considerar el puntaje del catador. En este sentido la mejor fragancia corresponde al café con 16 horas de fermentación en invernadero, el mejor sabor se obtuvo en invernadero, pero con 31 horas de fermentación, para el sabor residual, acidez de cuerpo, balance, uniformidad, tasa limpia y dulzor no existieron diferencias, pero de acuerdo a la apreciación del catador, el mejor café fue el que se obtuvo después de 16 horas de fermentación en condiciones de invernadero.

	AMB1T1	AMB1T2	AMB1T3	AMB2T1	AMB2T2	AMB2T3
Fragancia	6	6	6	7	6,25	6,5
Sabor	6	6,25	6	6,25	6,25	6,5
Sabor residual	6	6	6	6	6	6
Acidez Cuerpo	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Balance	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Uniformidad	10	10	10	10	10	10
Tasa limpia	10	10	10	10	10	10
Dulzor	10	10	10	10	10	10
Puntaje catador	6	6	6	7	6,5	6,5

Tabla 5. Atributos considerados para la evaluación de la calidad del café variedad Catucaí bajo diferentes condiciones de fermentación.

Table 5. Attributes considered for the evaluation of the quality of Catucaí variety coffee under different fermentation conditions.

Mejor puntaje de catación del experimento

Cada variedad de café presenta un perfil único de sabores y aromas los cuales, en función del procedimiento de beneficiado, pueden afectar los atributos que se manifiestan durante la catación. Es importante destacar que estos perfiles varían entre las distintas variedades de café. Por lo tanto, solo es posible realizar comparaciones significativas entre fermentaciones que involucren la misma variedad y, por ende, el mismo perfil sensorial.

Los resultados obtenidos indican que los tiempos y ambientes de fermentación evaluados tienen un impacto significativo en la calidad final del café, tal como se refleja en los puntajes de catación. Se observó que en fermentaciones aeróbicas artesanales el tratamiento más efectivo fue un proceso de 16 horas. Esto se debe a que, al extenderse a 20 horas, se producen fermentaciones lácticas y acéticas que generan defectos en la taza, disminuyendo la calidad de la variedad.

DISCUSIÓN

La fermentación en invernadero tiene la desventaja de incrementar la temperatura y que disminuyan los grados Brix, por lo cual se debe buscar el mantenimiento estable de temperatura en condiciones de clima templado como es el característico de las zonas cafeteras tropicales de Colombia (Osorio et al., 2021), Venezuela (Mogollón et al., 2022) y en países andinos como Bolivia

y Perú (Ramos Cotacallapa et al., 2019) De este modo, las mismas impiden que los grados Brix sean afectados debido a la actividad de los microorganismos durante el proceso de fermentación de 16 horas, según lo señalado por Penagos y Albarracín (2020). Este fenómeno ocurre de manera oportuna porque las temperaturas se mantienen por debajo de los 18 °C durante la fermentación en condiciones naturales. Este entorno permite que las bacterias regulen su reproducción, manteniendo así un pH con variaciones mínimas al no fermentar el citrato, como indican las investigaciones de García (2013) y Kennes et al. (1991).

Molina et al. (2020) señalan que las variaciones climáticas en las diferentes etapas de maduración influyen en la calidad del café. Los atributos de calidad del grano de café verde se ven afectados por factores climáticos, como se muestra en un estudio sobre si el cultivo a gran altura contribuyó a los compuestos volátiles en los cultivos de café en comparación con el cultivo en regiones de tierras bajas, aunque la variedad cultivada corresponde a piso alto los cambios organolépticos estuvieron condicionados por las variaciones de temperatura en el ambiente de fermentación.

En relación a las variaciones en el pH durante la fermentación, estas se explican debido a la influencia directa de la temperatura en el crecimiento de los microorganismos que participan en las reacciones bioquímicas del proceso, (Mahingsapun et al., 2022). En este sentido, una temperatura más elevada favorece la reproducción acelerada de los microorganismos, lo que conduce a la rápida utilización de azúcares reductores y citrato a lo largo del tiempo provocando un descenso en el pH, como indican los hallazgos de Zofia et al. (2020).

Adicionalmente, se observa que tanto el ambiente de la zona como el testigo agricultor presentan un pH más elevado, ya que están expuestos a temperaturas más bajas en comparación con el ambiente invernadero. En contraste, este último exhibe un descenso más pronunciado en su pH, atribuido a una temperatura dos grados Celsius más alta. Este cambio en la temperatura incide en la interacción entre levaduras y bacterias. Las bacterias ácido acéticas y lácticas, que se activan con temperaturas más elevadas, fermentan el citrato ocasionando una disminución del pH de manera más rápida que las levaduras, como señalan los estudios de Kennes et al. (1991).

Debido a las temperaturas más elevadas, según García (2013), se observan diferencias entre los ambientes, influenciadas por la velocidad de consumo de los azúcares reductores presentes en los sólidos disueltos del mucílago del café (Schwan y Wheals, 2004). Estos hallazgos concuerdan con los resultados de Vidal (2014), quien observó que las cerezas con bajos contenidos de grados Brix presentaron pH ligeramente ácidos en los medios de fermentación.

Los tiempos de fermentación se establecen teniendo en cuenta las condiciones climáticas y el tipo de café que se pretende producir, según Venegas et al. (2018). En el caso de cafés especiales, se llevan a cabo fermentaciones prolongadas con el objetivo de resaltar las características distintivas de una variedad y elevar su calidad en taza, como indican Puerta y Echeverry (2015). No obstante, si estos procesos no se controlan adecuadamente, pueden surgir fermentaciones lácticas y alcohólicas, generando defectos en la taza, según lo señalado por Schwan y Wheals (2004).

Los resultados obtenidos indican que cuando se presenta un pH ácido desde el inicio de la fermentación, lo más probable es que el tiempo disponible para la reproducción de las levaduras con la ayuda del ambiente sea limitado, según García (2013). Este escenario beneficia al ambiente invernadero y al tiempo de fermentación de 16 horas, ya que la mayor temperatura en este contexto promueve una reproducción más intensa de microorganismos, como señala Kennes et al. (1991). Estos microorganismos consumen rápidamente los azúcares reductores, generando procesos bioquímicos que contribuyen al beneficio del café en un tiempo menor, aunque paralelamente provocan una disminución del pH del medio, de acuerdo con los hallazgos de Vidal (2014).

Por último, todos los cambios experimentados durante el proceso de catación se reflejaron en la calidad del café. En este sentido, durante la catación, se destacó que el tratamiento con ambiente invernadero y 16 horas de fermentación obtuvo el mejor puntaje, alcanzando 79,25/100. Este resultado le otorga una clasificación como café comercial, según los criterios establecidos por la

Asociación de Cafés Especiales (SCA). Esta calificación guarda similitudes con el perfil de taza observado en la variedad Catucaí, según Velásquez (2019), que presenta tonos de panela, astringencia en el retrogusto y sabores cítricos.

Basado en los resultados presentados, se observan similitudes con el estudio de Velásquez (2019), quien obtuvo puntajes promedio de 79,31/100 en la catación de la variedad Catucaí. Estas similitudes pueden explicarse por el bajo contenido de grados Brix que caracteriza a la variedad. Además, el café obtenido se clasifica como comercial según los estándares de la Asociación de Cafés Especiales.

Sin embargo, los resultados no concuerdan con el perfil presentado por Ramos Cotacollapa et al. (2019), quien describió un perfil en la variedad Catucaí con aroma a manzana verde, sabor a frutos secos y tonos de romero y hierba luisa, atribuidos a la maceración carbónica y la fermentación alargada que resalta los atributos de la variedad. A pesar de esta discrepancia, sí se observa concordancia en los aspectos relacionados con los sabores cítricos y la astringencia en el retrogusto.

En concordancia con las características observadas durante la catación, el café no exhibe atributos diferenciados y presenta un sabor descompensado, con un desequilibrio entre el sabor y el cuerpo. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Puerta y Echeverry (2015), quienes identificaron sabores descompensados debido al tiempo de fermentación insuficiente, que oscilaba entre 12 y 18 horas.

CONCLUSIONES

En el experimento, el puntaje más alto en la catación fue de 79,25/100, clasificándose como usualmente de buena calidad (UGQ) según los estándares de la Asociación de Cafés Especiales, equivalente a la categoría de café comercial destinado al consumo nacional. Este resultado se logró en el ambiente invernadero, el cual obtuvo puntajes superiores en comparación con el ambiente de la zona, con una mejora promedio de alrededor de 1,16 puntos.

Los resultados experimentales sugieren que el tiempo óptimo de fermentación se alcanzó a las 16 horas en el ambiente invernadero. En este periodo, se observan rangos de pH superiores a 3,5, indicativos de fermentaciones beneficiosas para la calidad del café. Durante la catación, este café exhibió un perfil con sabores cítricos, notas a panela y una taza limpia.

Los periodos con temperaturas superiores a los 18,3 °C provocaron un aumento en la respiración microbiana en el medio de fermentación, resultando en la generación de aromas alcohólicos y a vinagre. Estos indicios son característicos de una sobrefermentación, la cual dio lugar a defectos en la taza, lo que desmejoró notablemente su calidad, lo que lo hace menos competitivo en el exigente mercado internacional de este producto.

AGRADECIMIENTOS

Universidad Central del Ecuador, por el apoyo técnico y logístico a través de la Facultad de Ciencias Agrícolas, de la Escuela de Ingeniería Agronómica. Quito - Ecuador, para la realización de los análisis químicos llevados a cabo durante la investigación

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación de Café de Especialidad SCA. (2020). About SCA - Specialty Coffee Association. SCA. <https://sca.coffee/about>
- Biblioteca – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (s. f.). <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- Cañarte-Vélez, C. R., Valverde-Lucio, Y. A. y Mero-Tuárez, J. R. (2021). Características sensoriales del café (*Coffea arabica*) con distintos tratamientos de beneficio húmedo. *Polo del Conocimiento*, 6(1), 445-463. <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2152>
- da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International*, 136, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>

- Elhalis, H., Cox, J., & Zhao, J. (2023). Coffee fermentation: Expedition from traditional to controlled process and perspectives for industrialization. *Applied Food Research*, 100253(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100253>
- Galarza, G., & Figueroa, J. G. (2022). Volatile Compound Characterization of Coffee (*Coffea arabica*) Processed at Different Fermentation Times Using SPME–GC–MS. *Molecules*, 27(6), 2004. <https://doi.org/10.3390/molecules27062004>
- García, A. (2013). Marco conceptual sobre la influencia de la temperatura y la humedad relativa en la fermentación sólida del grano de café arábica sobre el contenido del ácido 5-o-caffeoilquinico. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kennes, C., Veiga, M. C., Dubourguier, H. C., Touzel, J. P., Albagnac, G., Naveau, H., & Nyns, E. J. (1991). Trophic relationships between *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* and their metabolism of glucose and citrate. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(4), 1046-1051. <https://doi.org/10.1128/aem.57.4.1046-1051.1991>
- Lanuza, D. S. Z., Agurcia, G. R. C., Cornejo, E. J. A., & Matey, Á. A. C. (2023). Perspectiva de productores y catadores sobre la influencia de la fermentación en las características organolépticas del café (*Coffea arabica*) variedad catimor, estudio de caso en Nicaragua. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 13(2), 188-199.
- Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2015). Coffee fermentation and flavor—An intricate and delicate relationship. *Food chemistry*, 185, 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>
- Mahingsapun, R., Tantayotai, P., Panyachanakul, T., Samosorn, S., Dolsophon, K., Jiamjaritayam, R., ... & Krajangsang, S. (2022). Enhancement of Arabica coffee quality with selected potential microbial starter culture under controlled fermentation in wet process. *Food Bioscience*, 48, 101819. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101819>
- Martínez, S. J., Simão, J. B. P., Pyro, V. S., & Schwan, R. F. (2021). The altitude of coffee cultivation causes shifts in the microbial community assembly and biochemical compounds in natural induced anaerobic fermentations. *Frontiers in Microbiology*, 12, 671395. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.671395>
- Mejía, L. A. & Argüello, O. (2000). Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de café. Regional 7, Bucaramanga, Colombia: Publicaciones CORPOICA.
- Mogollón, J. P., Fernández, T., Garrido, H., Quintero, D., Cordero, A., Castillo, Y., ... & Alejos, I. (2022). Captura y emisión de carbono en suelos de cafetales bajo diferentes tipos de sombra en Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 52(1y2), 71-91. [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p71-91_157](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p71-91_157)
- Molina, P. C. P., Martínez, M. J. G., Ceballos, G. C. O., Cabrera, C. R. C., & Pérez, J. C. (2020). Fenómenos meteorológicos y su efecto sobre la producción de café en la Zona Central de Veracruz. *UVserva*, (9), 47-58. <https://uvserva.uv.mx/index.php/UVserva/article/download/2638/4578>
- Osorio, V., Pabón, J., Calderón, P. A. & Imbachi, L. C. (2021). Calidad física, sensorial y composición química del café cultivado en el departamento del Huila. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72201-e72201. <https://doi.org/10.38141/10778/72201>
- Panza, F., Solfrizzi, V., Barulli, M. R., Bonfiglio, C., Guerra, V., Osella, A., Seripa, D., Sabbà, C., Pilotto, A., & Logroscino, G. (2015). Coffee, tea, and caffeine consumption and prevention of late-life cognitive decline and dementia: A systematic review. *Journal of Nutrition, Health and Aging*, 19(3), 313-328. <https://doi.org/10.1007/s12603-014-0563-8>
- Pazmiño-Arteaga, J. D. & Ruíz-Chávez, A. F. (2023). Evaluación sensorial y de compuestos volátiles aromáticos del café (*Coffea arabica* var. Caturra Chiriso) de tres orígenes geográficos de Antioquia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2846
- Penagos, R. A. R. & Albarracín, C. G. D. (2020). Una reflexión sobre el proceso de fermentación de varios tipos de café según las características regionales. *Revista Siembra CBA*, (2), 91-96.
- Peñuela, A. E. & Sanz-Urbe, J. R. (2021). Obtena café de calidad en el proceso de beneficio. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed., pp. 189-218). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- Puerta, G. I. (2012). Factores procesos y controles en la fermentación del café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/3271/1/avt0422.pdf>
- Puerta, G., & Echeverry, J. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica Fondo Nacional Del Café, 454(1), 12. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/558/1/avt0454.pdf>
- Ramos Cotacallapa, E., Lima-Medina, I. & Cornejo-Condori, G. B. (2019). Comparativo de calidad organoléptica de café (*Coffea arabica* L.) en Puno-Perú y La Paz-Bolivia. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(4), 283-292. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.505>
- Salazar, R. Y., Mora, C. & Duarte, M. (2019). Análisis de las tendencias en la producción y el consumo de café a nivel internacional. *Revista Visión Internacional*, 1(1), 22-26. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/visioninternacional/article/download/2369/4098>

- Sanz-Uribe, J. R., & Velásquez-Henao, J. (2022). Producción de café con fermentaciones incompletas y fermentaciones prolongadas utilizando el Fermaestro®. *Revista Cenicafe*, 73(1), e73105-e73105. <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/download/203/168>
- Schwan, & Fleet, G. (2015). Cocoa and Coffee Fermentations. In M. J. R. N. and P. K. Sarkar (Ed.), *Cocoa and coffee fermentation*. (Primera). Taylor and Francis Group.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205-221. <https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Torres, P., Caja, J. y Jara, W. (2017). *Guía Metodológica de catación de café* (CAC PAngoa Ltda (ed.); Primera). SATIPO.
- Vásquez Villeda, K. E., Sierra Dubón, E. A. S. y Herrera Cifuentes, W. A. H. (2021). Evaluación de propiedades químicas del grano de café y características en copa al modificar fermentación en proceso húmedo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 9379-9401. <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/991/1355>
- Velásquez O., R. A. (2019). *Guía de variedades de café*. Asociación Nacional Del Café, Anacafé, 112, 48. <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- Venegas, S., Orellana, D. y Pérez, P. (2018). La realidad ecuatoriana en la producción de café. *Recimundo*, 2(2), 72-91. [https://doi.org/10.26820/recimundo/2.\(2\).2018.72-91](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.72-91)
- Vidal, M. (2014). Rango ideal de concentración de sólidos solubles durante la maduración del café y su influencia sobre la calidad de taza, en dos variedades y tres niveles altitudinal. *Lincoln Arsyad*, 3(2), 1-46. <http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127>
- Wang, X., Wang, Y., Hu, G., Hong, D., Guo, T., Li, J., Li, Z., & Qiu, M. (2022). Review on factors affecting coffee volatiles: From seed to cup. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(4), 1341-1352. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11647>
- Zofia, N. Ł., Aleksandra, Z., Tomasz, B., Martyna, Z. D., Magdalena, Z., Zofia, H. B., & Tomasz, W. (2020). Effect of fermentation time on antioxidant and anti-ageing properties of green coffee Kombucha ferments. *Molecules*, 25(22), 5394. <https://doi.org/10.3390/molecules25225394>