

Submerged fermentation effect in cup quality of two varieties of Peruvian special coffee

Yoner Salas-Pastor, Mg.¹, William Minchan-Quispe, Mg.¹, and Jimy Oblitas-Cruz, M.Sc.²

¹ Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, yasalasp@unc.edu.pe, wminchanq@unc.edu.pe,

² Universidad Privada del Norte., Perú, jimy.oblitas@upn.edu.pe

Abstract—The consumption of special coffees has been gradually increasing and affecting in their prices, not only for the domestic market; but also in the foreign market. The different methods of coffee processing will directly influence the cup quality. Taking this into consideration, this study has as an objective evaluated the cup quality of two varieties of Peruvian special coffee subjected to submerged fermentation. This research was done in a Central Composite Rotational Design (CCRD) containing four factorial experiments, four axial experiments and three core repeats. It was evaluated the cup quality of two varieties of coffee subjected to different temperatures (8, 9, 12, 15 and 16 °C) and fermentation times (48, 62, 96,130 and 144) submerged in relation 70:30; having as a result that the geisha variety presents greater values than 86 points, continued by caturra variety with less values than 85.75 points, with temperatures above 16° C and times between 90 and 100 hours.

Keywords: submerged fermentation, temperature and time, cup quality.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Efecto de la fermentación sumergida en niveles de taza de dos variedades de café especial del Perú

Yoner Salas-Pastor, Mg.¹, William Minchan-Quispe, Mg.¹, and Jimy Oblitas-Cruz, M.Sc.²

¹ Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, yasalasp@unc.edu.pe, wminchanq@unc.edu.pe,

² Universidad Privada del Norte., Perú, jimy.oblitas@upn.edu.pe

Resumen– El consumo de cafés especiales ha ido aumentando gradualmente y repercutiendo en sus precios no solo para el mercado interno sino también para el extranjero. Los diferentes métodos de procesamiento del café influirán directamente en la calidad de taza. Teniendo esto en cuenta, este estudio tuvo como objetivo evaluar los niveles de taza de dos variedades de café especial del Perú sometidos a fermentación sumergida. El experimento se llevó a cabo en un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) conteniendo cuatro experimentos factoriales, cuatro experimentos axiales y tres repeticiones centrales. Se evaluaron los niveles de taza de dos variedades de café sometido a diferentes temperaturas (8, 9, 12, 15 y 16 °C) y tiempos (48, 62, 96, 130 y 144) de fermentación sumergida en relación 70:30; teniendo como resultado que la variedad geisha presenta mejores valores mayores a 86 puntos, seguido de la variedad caturra con valores menores a 85.75 puntos, a temperaturas superiores a los 16 °C y a tiempos entre 90 y 100 horas.

Palabras Clave- Fermentación sumergida, temperatura y tiempo, nivel de taza.

I. INTRODUCCIÓN

Por siglos, se ha usado el proceso de fermentación para dar sabor, aroma, modificar la textura y conservar la calidad de los alimentos y bebidas para el consumo humano. La fermentación influye en la calidad del café. Mediante el proceso de fermentación controlada del café, se produce bebidas con aromas y sabores especiales, dulces, cítricos, frutales y tostados, que generan calidad en el producto [1].

El café se exporta tradicionalmente por los países en desarrollo y su importación por los países desarrollados quienes controlan la industrialización y la comercialización internacional mediante las empresas transnacionales [2].

En Perú, el café es un producto tradicional de mucha importancia económica y reconocido por paladares internacionales [3]. En este contexto, a partir de 1992 emerge el mercado de cafés de especialidad, que incluye a cafés sustentables y de alta calidad, como segmento de mercado que paga mejores precios y tiene altos índices de crecimiento [4], que genera empleo y es un medio de subsistencia de más de 2 millones de productores peruanos.

Para la obtención de cafés de especialidad se presentan cierto grado de complejidad en su beneficio [4], y las operaciones que definen sus características, siendo la fermentación controlada la que permite producir bebidas con aromas y sabores especiales, que adicionan valor y consistencia a la calidad del café [1], generando incidencia en los niveles de taza [5].

Actualmente la producción de café tiene un crecimiento vertiginoso por los antioxidantes naturales, por su eficacia que

estos poseen debido a la gran variedad de componentes fitoquímicos que previenen el envejecimiento y enfermedades crónicas. Esto se debe a que los antioxidantes sintéticos ofrecen una mínima seguridad en el consumo [6].

El café por su frecuencia de consumo y gran volumen de demanda es la fuente principal de antioxidantes, mayor que los vegetales y el vino[7]. El café en el Perú asciende a 363 mil toneladas [7], siendo el café arábico en su gran mayoría, variedad Typica más del 70%, Caturra (20%) y otras (10%) considerados como cafés especiales [8], teniendo como principales áreas de cultivo las regiones de Junín, Chanchamayo con 16 %, San Martín y Amazonas con 47 % de la producción total. Parte de la problemática está ligada al crecimiento de la producción de cafés especiales, de alta calidad, orgánica, oriunda de microclimas específicos, con sabor particular y extraído según los estándares establecidos.

El café es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial; por lo tanto, la evaluación de la calidad del café es un objetivo importante. La calidad final está estrictamente relacionada con las materias primas, los procesos tecnológicos y la preparación de la bebida. Asimismo se ha reportado medidas de calidad de café en base a su color [9], tostado [10], compuestos volátiles [11], entre otros.

En el Perú actualmente no existe parámetros optimizados de beneficio del café ajustados a las zonas productoras [12], situación que es necesaria resolver ya que se tiene un incremento del comercio cafetalero a nivel internacional por el consumo del café especial por sus características organolépticas exclusivas y por el contenido de sus compuestos bioactivos dentro de ellos los antioxidantes, que han demostrado efectos positivos en reducir la incidencia de enfermedades neurodegenerativas y crónicas [13].

La investigación nos permitió conocer los niveles de taza de cafés de especialidad variedad Caturra Roja y Geisha a tiempos y temperaturas óptimas de fermentación sumergida. Asimismo, los resultados permitirán modificar favorablemente los sistemas, procedimientos y métodos de beneficio en la etapa de fermentación de café cerezo, logrando cafés especiales con mayores niveles de taza, teniendo precios más altos en el mercado en beneficio de los productores, organizaciones, empresas o comunidades cafetaleras [14].

Finalmente, la investigación contribuye a fortalecer el campo del sector alimentos, con conocimiento científico en la optimización de métodos establecidos en los procesos de beneficio de café en la etapa de fermentación, ajustándose a las nuevas tendencias de consumo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Muestra

Las muestras fueron obtenidas de la zona de Jaén y San Ignacio en Perú (Figura 1) y estuvo representada por 3 lotes de 120 kg de café cerezo cada uno, con tamaño y color rojo homogéneo con un índice de madurez mayor a 12 °Brix, las que fueron transportadas en canastas a las instalaciones piloto de las fincas, para someterlas a cadena de frío y transportarlos al laboratorio de tecnología de frutas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad nacional de Cajamarca, donde se realizara el beneficio hasta la operación del secado (café verde oro).

Luego el café verde oro se envasó en bolsas greipro de primer uso de 1 kilogramo por tratamiento y empacados en cajas de cartón corrugado

B. Fermentación

En la fermentación del café ocurren varios procesos, básicamente las levaduras y las bacterias del mucílago mediante sus enzimas naturales oxidan parcialmente los azúcares y producen energía (ATP), etanol, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono. Además, se obtienen otros alcoholes como propanol, butanol, ácidos como el succínico, fórmico, butírico y sustancias olorosas como aldehídos, cetonas y ésteres. También se degradan los lípidos del mucílago de café y cambian el color, el olor, la densidad, la acidez, el pH, los sólidos solubles, la temperatura y la composición química y microbiana de este sustrato [15], en el proceso de fermentación los granos de café despulpados se colocaron en bolsas selladas herméticamente para ser sometidos a la fermentación sumergida a diferentes tiempos y temperaturas.

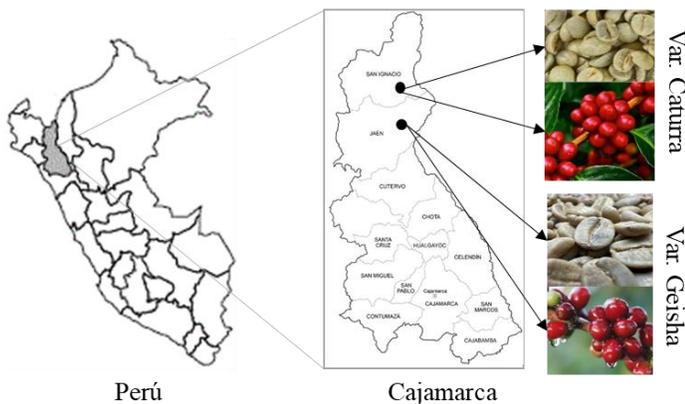


Fig 1. Zonas de Perú donde se obtuvo las muestras

La presente investigación uso el proceso de fermentación sumergida donde se colocó el café despulpado, previamente seleccionado por color y densidad en bolsas de polietileno cerradas herméticamente sumergiéndolas en un tanque refrigerado con agua en relación 70:30, sometidas a temperaturas de 8, 9, 12, 15 y 16 °C con tiempos de 48, 62, 96, 130 y 144 horas respectivamente.

C. Determinación del nivel de taza de café especial

Las evaluaciones de calidad se realizarán con el estándar de la Asociación América de Cafés Especiales (SCAA), con una terna de catadores con rango de Q Grader [16].

Los diez atributos de la SCCA se calificaron en una escala de cero a diez puntos, dichos puntajes se sumaron al final para obtener un puntaje global por juez de cada una de las muestras. Las respuestas obtenidas de la terna de catadores con rango Q Grader, se evaluaron con el Software STATISTICA, versión 13.3, para comprobar si hay significancia estadística, $p < 0.05$.

D. Método estadístico

En la investigación se utilizó el Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR). Donde se desarrollaron ecuaciones de regresión polinomial para describir los efectos de dos variables independientes: X_1 = temperatura de fermentación sumergida (°C) y X_2 = tiempo de fermentación sumergida (horas) del café cereza.

El siguiente modelo de regresión polinomial de segundo orden (Ecuación 1) se empleará en este estudio, teniendo la ecuación completa valores lineales (X_1 , X_2), cuadráticos (X_1^2 , X_2^2) e interactivos ($X_1 X_2$) a fin de determinar los efectos de las variables independientes, temperatura de fermentación sumergida (X_1) y tiempo de fermentación sumergida (X_2) sobre la variable dependiente (Y), se determinarán:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

Donde Y es la variable de respuesta predicha, B_0 la constante (intersección), β_i es el coeficiente lineal β_{ii} el coeficiente cuadrático y β_{ij} es el coeficiente del producto cruzado, X_i y X_j son variables independientes. La regresión de la superficie de respuesta se utilizó para analizar los datos experimentales utilizando el software Statistica Versión 13.3 (Statsoft. USA); se desarrollaron gráficos de contorno bidimensionales. Los criterios para utilizar y caracterizar la eficiencia de ajuste de los datos al modelo fueron los coeficientes de correlación múltiple (R^2), el análisis de varianza (ANOVA) de los coeficientes de regresión de las ecuaciones polinomiales ajustadas, y el nivel de significancia en $P < 0.05$.

III. RESULTADOS

A. Parámetros de la fermentación

Tal como se observa en la figura 2 y figura 3 el cambio de pH y °Brix en la fermentación sumergida estuvo influenciado de manera significativa ($p < 0.05$) por la temperatura y tiempo de fermentación; la variedad de café no influyó en este parámetro siendo estadísticamente similares ambas variedades.

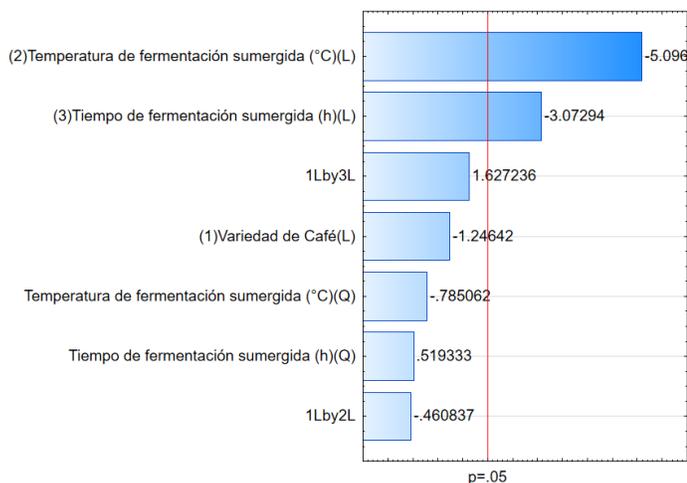


Fig. 2 Pareto estandarizado para pH

Los parámetros que tienen incidencia en la fermentación sumergida son el pH y el °Brix el cual está influenciado por la temperatura y tiempo de fermentación tal como se observó, esto se debe a que los microorganismos encargados de la fermentación necesitan temperaturas en promedio de 16 °C.

De manera diferente sucede cuando se analiza la acidez, tal como se observa en la figura 4, la variable que resultó significativa ($p < 0.05$) fue la variedad de café.

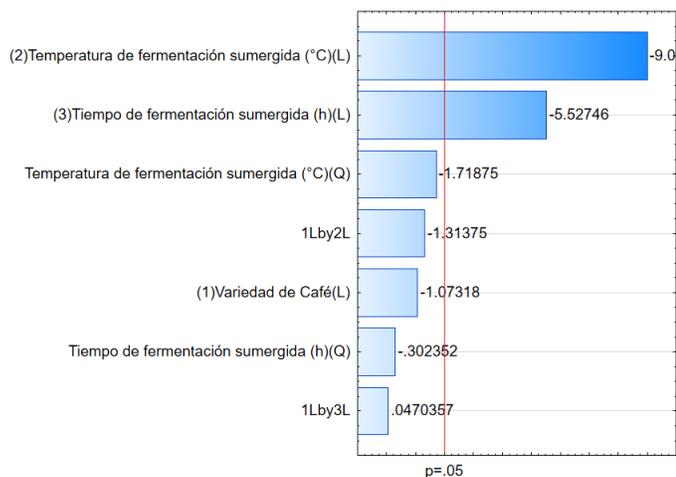


Fig. 3 Pareto estandarizado para Brix

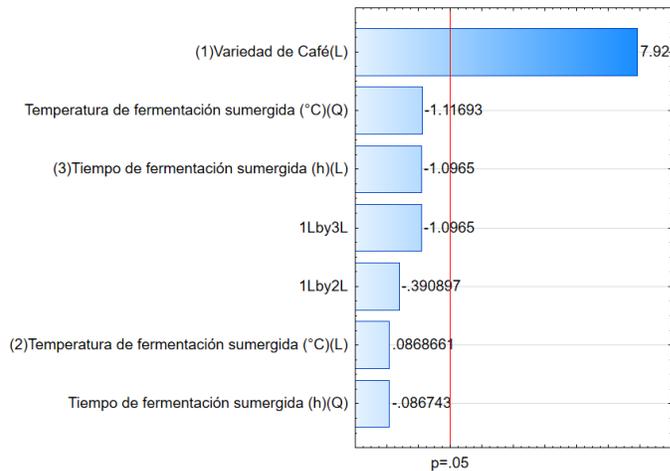


Fig. 4 Pareto estandarizado para acidez

El pH del sustrato disminuyó por la formación y disociación de ácidos (láctico, acético, málico y otros generados en el metabolismo celular), la variación del pH durante la fermentación es diferente, dependiendo de la calidad en baba del sistema y de la temperatura, a mayor temperatura la disminución del pH en la fermentación es más rápida.

Asimismo, en el café los sólidos del mucílago están constituidos por los azúcares reductores y no reductores que durante el proceso de fermentación tienden a decaer debido al consumo de los microorganismos para producir etanol, ácido láctico y otros compuestos, esto da respuesta a los valores obtenidos en la evaluación realizada en esta investigación.

Se observó que la acidez no fue afectada por temperatura y tiempo esto se debe a que en ambientes de refrigeración (como en la presente investigación) la acidez del mucílago se mantiene más tiempo. Reportes a temperaturas mayores afirman que la acidificación del mucílago de café durante la fermentación es rápida en las primeras horas, seguido de una desaceleración, debido al consumo del sustrato y a la reducción de las bacterias, debido a las mismas condiciones ácidas.

B. Parámetros para calidad en taza

La variedad y la temperatura de fermentación sumergida influyen significativamente ($p < 0.05$) en la calidad en taza de cafés arábigos tal como se observa en la figura 5:

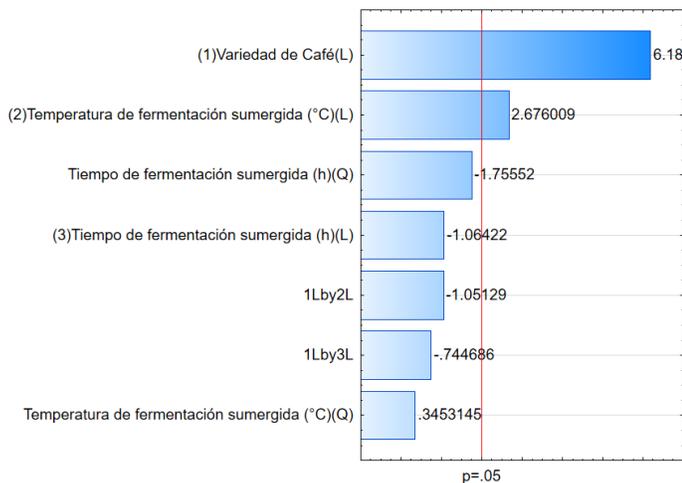


Fig. 5 Pareto estandarizado para calidad en taza

Esta diferencia en base a la variedad es porque cada una de ellas presenta características notables en la calidad del grano y por consiguiente de la bebida; la variedad geisha a diferencia de la caturra presenta cualidades más suaves, aromas intensos y acidez agradable dadas por la genética de la planta, por los componentes químicos del grano siempre y cuando las condiciones de cultivo y las prácticas de procesamiento en el beneficio, almacenamiento y preparación sean adecuadas [17], obteniendo calificaciones de cafés especiales.

Estas diferencias también se pueden deber a la presencia de compuestos fenólicos que afectan directamente las características de una infusión de café, contribuyendo a los cambios de color, sabor y aroma durante el proceso de tostado [18]. Sin embargo, un alto contenido de compuestos fenólicos se ha asociado con una reducción en la calidad de la taza de café. Un estudio en café brasileño observó que los niveles más altos de ácidos cafeoilquínicos (predominantemente 5-CQA) y sus productos de oxidación están asociados con una mala calidad en taza [19].

Es también importante en este punto recalcar que la calidad en taza se mide en café tostados, esto implica la generación y el control de la temperatura de las semillas durante el tiempo necesario para alcanzar el color deseado e involucra parámetros como la temperatura del aire y de la superficie de la cámara de tostado, las propiedades del material, la distribución del calor en las semillas, etc. Asimismo la distribución del calor depende de la estructura física de las semillas, la cual es muy heterogénea [11], quizás este punto es importante tomarlo en cuenta en nuestros resultados ya que al usar 2 variedades esto pudo influir en la percepción de los catadores profesionales que evaluaron la calidad en taza.

La figura 6 muestra la superficie de respuesta donde observamos que a temperaturas superiores a los 16 °C y a tiempos entre 90 y 100 horas se han obtenido mayores puntajes en calidad en taza para las variedades de café geisha y caturra.

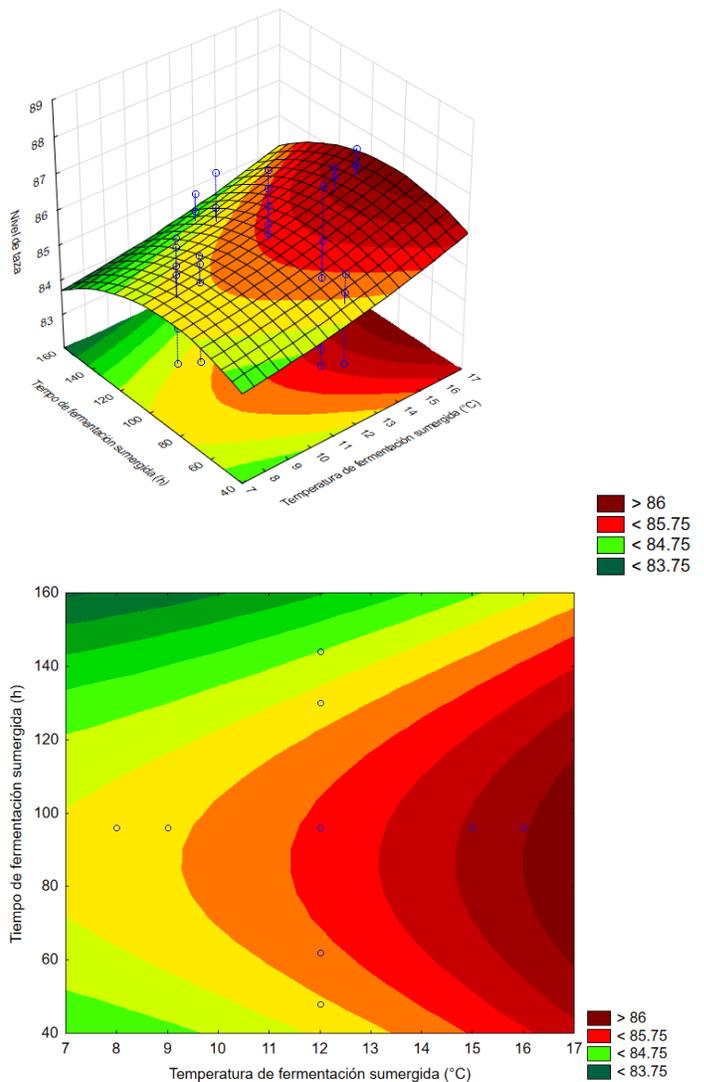


Fig. 6. Superficie estimada de calidad en taza (T° vs t)

La calidad de la taza de café está determinada principalmente por el tipo y la variedad de granos verdes elegidos y el régimen de tostado utilizado [20], nuestra premisa en investigación va un paso antes de la obtención del café, como influenciador de la calidad de taza. Por ello se busca usando el método de superficie de respuesta los parámetros tecnológicos que den valores altos de calidad en taza.

Asimismo, en la figura 7 se muestra la superficie que relaciona temperatura de fermentación y variedad, los resultados en el estudio determinan que la variedad caturra necesita temperatura superior a 15 °C para obtener mejores perfiles de calidad en taza, a diferencia de la variedad geisha que ha 8 °C logra puntajes superiores a 85, mejorando los perfiles a medida que se incrementa la temperatura (16 °C).

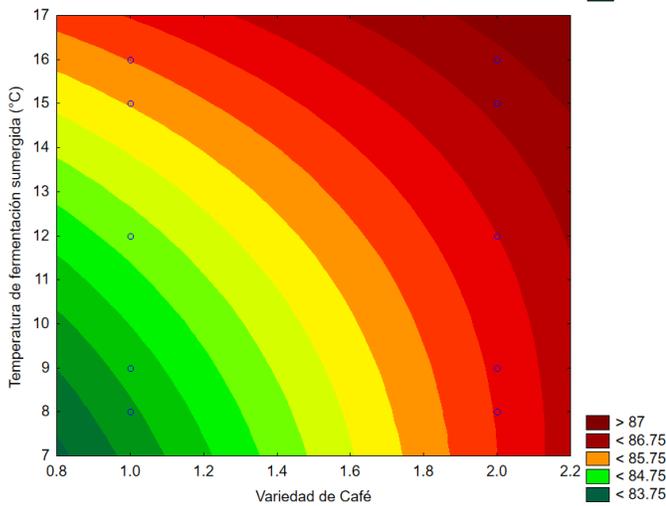
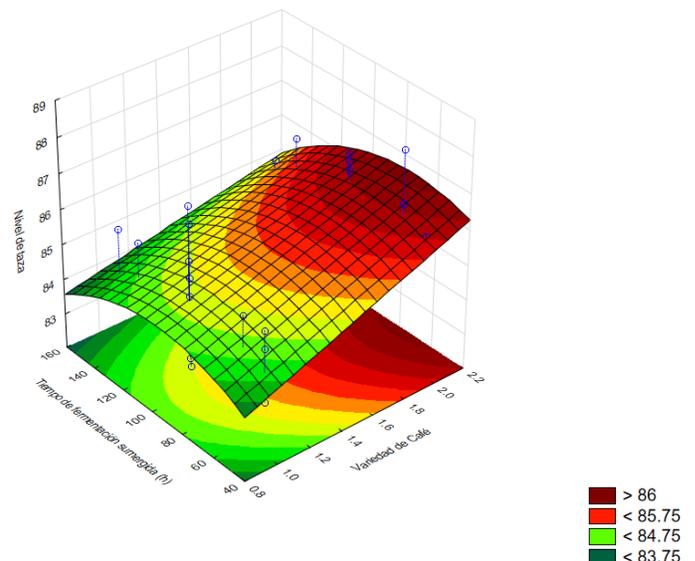
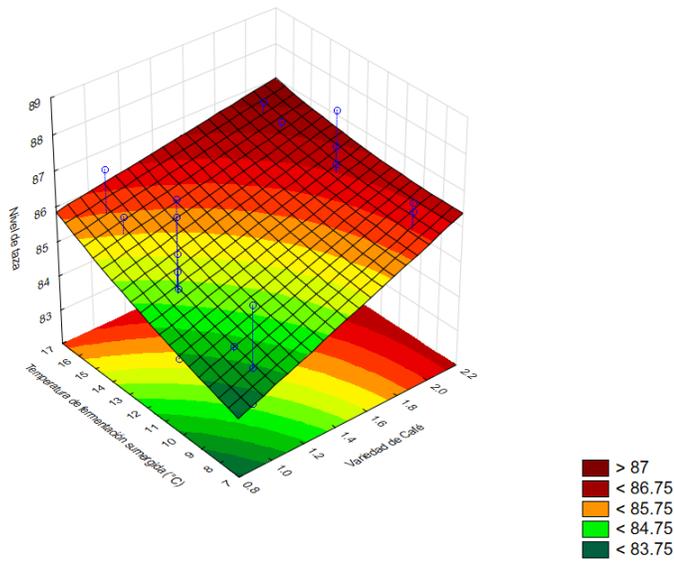


Fig. 7. Superficie estimada de calidad en taza (variedad vs T°)

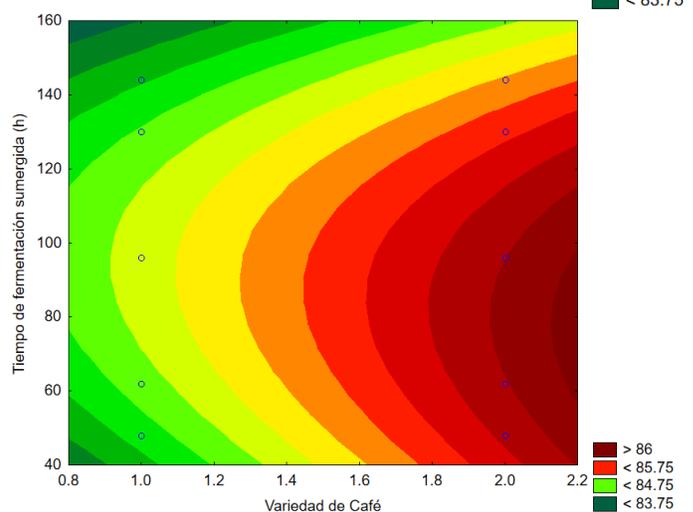


Fig. 8. Superficie estimada de calidad en taza (variedad vs t)

Finalmente, la figura 8, la variedad con el tiempo, mostrando las superficies estimadas, se ha podido determinar que la variedad caturra y geisha necesitan tiempos entre 90 y 100 horas para lograr mejores perfiles de calidad en taza.

Estos valores obtenidos en la figura 6, figura 7 y Figura 8 pueden darnos información para poder generar una forma más adecuada de fermentación sumergida que nos permita optimizar el proceso para la obtención de Café con una alta calidad en taza.

La calidad general del café se ve afectada predominantemente por los sistemas de producción y procesamiento [21] por ello la importancia de evaluar toda la cadena de proceso de café, no solo el tostado si no también procesos como la fermentación que como observamos pueden tener relación con la calidad en taza.

La importancia de determinar valores adecuados de tecnología de cafés especiales es aumentar la calidad en taza los que tienen una creciente demanda, lo cual crea un gran potencial y una oportunidad para los países productores de café. Una demanda creciente de tales cafés en el mercado mundial resultó en una segmentación del mercado del café y se pagan precios más altos por los cafés especiales. Por ejemplo, los granos de café de especialidad reciben un precio premium de aprox. 20–50% en comparación con los granos de café normales.

La tabla 1 resume las ecuaciones de la figura 6, figura 7 y figura 8, como se observa el ajuste de los datos obtuvo valores de R^2 superiores al 80% lo cual muestra que fue adecuado el método seleccionado para la investigación.

TABLA I
ECUACIONES Y R² DE LAS SUPERFICIES ESTIMADAS

Ecuación	R ²
$C.taza=78.02507+3.33463*V+0.05330*t - 0.00025*t^2-0.10999*12.*V-0.00662*V*t +2.65648$	0.85
$C.taza=78.02507+3.33463*V+0.13775*T +0.00697*T^2-.10999*V*T-0.006623*96.*V +2.80799$	0.84
$C.taza=78.02507+0.13775*T+0.006969*T^2 +0.05330*t-0.00025*t^2-.10999*1.5*T -0.00662*1.5*t+5.0019$	0.86

La influencia de los procesos de fermentación en la calidad del café está ampliamente reportada en la literatura científica, tanto las fermentaciones espontáneas como las inducidas son objeto de investigación para esta especie; sin embargo, la fermentación inducida ha recibido especial atención en la calidad del café [22], se conoce que el uso de cultivos seleccionados en la fermentación del café arábica ha favorecido el aumento de la calidad final de la bebida, como es el caso de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, cuyo metabolismo durante la fermentación se ha reflejado en la producción de ésteres, compuestos orgánicos asociados a especiales aromas frutales[23].

Como se ve el tema microbiológico es importante ya que representa una variable a tomar en cuenta para la calidad en taza, la investigación presentada muestra una fermentación espontánea en condiciones de temperaturas bajas lo cual no ha sido estudiado y viene a ser un punto a seguir indagando con el objetivo de obtener cafés peruanos con un alto valor de calidad en taza basado en un adecuado proceso de fermentación.

IV. CONCLUSIONES

La variedad que presenta mejores niveles de taza es geisha con valores mayores a 86 puntos, seguido de la variedad caturra con valores menores a 85.75 puntos, a temperaturas superiores a los 16 °C y a tiempos entre 90 y 100 horas.

Los parámetros que tienen incidencia en la fermentación sumergida son el pH y el Brix y la acidez esta influenciada por la variedad del café.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Coffee'S Jaen S.A.C. y a la Cooperativa Agraria APROCASSI, por el apoyo con las muestras de café y la Universidad Nacional de Cajamarca por la disposición de los laboratorios para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

[1] G. I. Puerta Q. y J. G. Echeverry M., «Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad», Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), Technical Report, abr. 2015. Accedido: 18 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/558>

[2] N.-T. Martha Elena y H. María Isabel, *Cafeticultura y uso sustentable de los recursos naturales. El caso del Sitio Ramsar "Cascadas de Texolo y su entorno" en Veracruz, México*. 2016.

[3] «El café peruano entre los mejores de la región», *VECO*. <https://latinoamerica.rikolto.org/es/project/el-cafe-peruano-entre-los-mejores-de-la-region> (accedido 18 de enero de 2023).

[4] P. Castro, Y. Contreras, D. Laca, y K. Nakamatsu, «Café de especialidad: alternativa para el sector cafetalero peruano», *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, vol. 9, n.º 17, Art. n.º 17, dic. 2004, doi: 10.46631/jefas.2004.v9n17.05.

[5] «Prototipo secado y volteo de cafés especiales aprovechando las energías renovables». <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8747> (accedido 4 de febrero de 2023).

[6] J. Tovar del Río, «determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregion Cafétera», 2013, Accedido: 4 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/3636>

[7] admin, «EL CAFÉ DE PERÚ», *Junta Nacional del Café*, 2 de septiembre de 2020. <https://juntadelcafe.org.pe/el-cafe-de-peru/> (accedido 4 de febrero de 2023).

[8] «El café de Perú», *Revista Fórum Café*. <https://www.revistaforumcafe.com/el-cafe-de-peru> (accedido 14 de enero de 2021).

[9] J. O. Cruz y W. C. Silupu, «Computer vision system for the optimization of the color generated by the coffee roasting process according to time, temperature and mesh size», *Ingeniería y Universidad*, vol. 18, n.º 2, pp. 355-368, 2014, doi: 10.11144/Javeriana.IYU18-2.cvso.

[10] N. Chindapan, S. Soydok, y S. Devahastin, «Roasting Kinetics and Chemical Composition Changes of Robusta Coffee Beans During Hot Air and Superheated Steam Roasting», *Journal of Food Science*, vol. 84, n.º 2, pp. 292-302, 2019, doi: 10.1111/1750-3841.14422.

[11] A. T. Toci, D. A. Azevedo, y A. Farah, «Effect of roasting speed on the volatile composition of coffees with different cup quality», *Food Research International*, vol. 137, p. 109546, nov. 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109546.

[12] «Línea de base del sector café en el Perú | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo». <https://www.undp.org/es/peru/publications/1%C3%ADnea-de-base-del-sector-caf%C3%A9-en-el-per%C3%BA> (accedido 4 de febrero de 2023).

[13] L. F. García, L. S. Calderón-Jaimes, y M. E. Rivera, «Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en Norte de Santander (Colombia)», *Vitae*, vol. 21, n.º 3, Art. n.º 3, dic. 2014, doi: 10.17533/udea.vitae.17258.

[14] «Café Especial Vs Café Comercial: Rendimiento, Calidad & Precios - Perfect Daily Grind Español». <https://perfectdailygrind.com/es/2018/07/04/cafe-especial-vs-cafe-comercial-rendimiento-calidad-precios/> (accedido 4 de febrero de 2023).

[15] G. Puerta Quintero, «Factores procesos y controles en la fermentación del café», ene. 2012.

[16] E. Ramos Cotacallapa, I. Lima-Medina, y G. B. Comejo-Condori, «Comparativo de calidad organoléptica de café (*Coffea arabica* L.) en Puno - Perú y La Paz - Bolivia», *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 21, n.º 4, pp. 283-292, oct. 2019, doi: 10.18271/ria.2019.505.

[17] «Geisha, Bourbon y Otros: Cómo Reconocer 6 Variedades de Café - Perfect Daily Grind Español». <https://perfectdailygrind.com/es/2019/06/17/geisha-bourbon-y-otros-como-reconocer-6-variedades-de-cafe/> (accedido 4 de febrero de 2023).

[18] R. C. Zanin, M. P. Corso, C. S. G. Kitzberger, M. B. dos S. Scholz, y M. de T. Benassi, «Good cup quality roasted coffees show wide variation in chlorogenic acids content», *LWT*, vol. 74, pp. 480-483, dic. 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2016.08.012.

[19] A. Farah, M. C. Monteiro, V. Calado, A. S. Franca, y L. C. Trugo, «Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian

- coffee», *Food Chemistry*, vol. 98, n.º 2, pp. 373-380, 2006, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.07.032.
- [20] R. D. Hall, F. Trevisan, y R. C. H. de Vos, «Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity», *Food Research International*, vol. 151, p. 110825, ene. 2022, doi: 10.1016/j.foodres.2021.110825.
- [21] A. A. Tassew, G. B. Yadessa, A. D. Bote, y T. K. Obso, «Influence of location, elevation gradients, processing methods, and soil quality on the physical and cup quality of coffee in the Kafa Biosphere Reserve of SW Ethiopia», *Heliyon*, vol. 7, n.º 8, p. e07790, ago. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07790.
- [22] L. L. Pereira *et al.*, «New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives», *Food Chemistry*, vol. 310, p. 125943, abr. 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125943.
- [23] B. Zani Agnoletti *et al.*, «Effect of fermentation on the quality of conilon coffee (*Coffea canephora*): Chemical and sensory aspects», *Microchemical Journal*, vol. 182, p. 107966, nov. 2022, doi: 10.1016/j.microc.2022.107966.