



Vol. 1 Num. 1 2025- ISSN: 3119-7132 (En línea)










Recibido: 09 Junio 2025 Aceptado: 28 Agosto 2025

ARTICULO DE REVISIÓN

<https://doi.org/10.58719/cdq14y57>

## **PROCESO TECNOLÓGICO TRADICIONAL DEL GRANO DE CAFÉ: UNA REVISIÓN**

### **TRADITIONAL TECHNOLOGICAL PROCESS OF COFFEE BEAN: A REVIEW**

Luis Ramos-Sánchez<sup>1</sup>  Rafael Pimentel-Pérez<sup>1</sup>  Diana Galiano Morell<sup>1</sup>   
Nemecio González-Fernández<sup>1</sup>  Hilda Oquendo-Ferrer<sup>1</sup>  Rutdali Segura-Silva<sup>1</sup>   
Laura Arias-Águila<sup>1</sup>  Iván Sala-Sánchez<sup>1</sup>  Mario Leyva Collas<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad de Camagüey. Camagüey. Cuba.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Perú.

#### **Correspondencia:**

Dr. Luis B. Ramos-Sánchez  
[luis.ramos@reduc.edu.cu](mailto:luis.ramos@reduc.edu.cu)

**Como citar este artículo:** Ramos, L., González, N., Arias, L., Pimentel, R., Oquendo, H., Sala, I., Galiano, D., Segura, R., & Leyva, M. (2025). Proceso tecnológico tradicional del grano de café: Una revisión. *Revista de Investigación Intercultural Asampitakoyote*, 1(1), 112–127. <https://doi.org/10.58719/cdq14y57>

#### **RESUMEN**

Este estudio tuvo como objetivo analizar de manera integral el proceso tradicional del beneficio del café e identificar innovaciones tecnológicas para su mejora, con el fin de beneficiar la recuperación del sector. Se realizó un análisis bibliométrico de artículos científicos y patentes relacionadas con la tecnología postcosecha del café. El análisis de patentes identificó a la fermentación como el principal foco de las innovaciones tecnológicas. Este panorama indica que los productores deben integrarse a la carrera por el desarrollo tecnológico, aprovechando su experiencia en procesos biotecnológicos, clave para las mejoras necesarias. La influencia del cambio climático y el incremento en los precios del café evidencian la urgencia de modernizar los procesos, con especial énfasis en la variedad Robusta. La industria cafetalera está inmersa en una revolución tecnológica para enfrentar estos desafíos y las demandas de calidad. Las tecnologías tradicionales se están innovando, para aumentar su productividad y efectividad, al tiempo que se avanza hacia una mayor sostenibilidad y la valorización de residuos en un marco de economía circular bajo el concepto de biorrefinería.

**Palabras clave:** Biorrefinería; economía circular; cultivo iniciador; fermentación del café; fermentación sólida; fermentación sumergida.

#### **ABSTRACT**

This study aimed to comprehensively analyze the traditional coffee processing process and identify technological innovations for its improvement, with the goal of boosting the sector's recovery. A bibliometric analysis of scientific articles and patents related to coffee post-harvest technology was conducted. The patent analysis identified fermentation as



the focus of technological innovations. This overview indicates that producers must join the race for technological development, leveraging their experience in biotechnological processes, which is key to the necessary improvements. The influence of climate change and rising coffee prices highlights the urgent need to modernize processes, with special emphasis on the Robusta variety. The coffee industry is undergoing a technological revolution to address these challenges and quality demands. Traditional technologies are being innovated to increase their productivity and effectiveness, while also moving toward greater sustainability and waste recovery within a circular economy framework under the concept of biorefinery.

**Keywords:** Biorefinery; circular economy; starter culture; coffee fermentation; solid-state fermentation; submerged fermentation

## INTRODUCCIÓN

El café es una bebida de gran difusión a nivel mundial, tanto por sus excelentes propiedades organolépticas como por el beneficio potencial que ofrece para la salud humana en base al contenido de sustancias con actividad antioxidante, antibacteriana y antiinflamatorias (Júnior et al., 2024), que lo hacen un alimento funcional muy atractivo. Se reconoce como el segundo producto más vendido en el mundo después del petróleo (Silva et al., 2024).

Según la Organización Internacional del Café (ICO), el sector del café ofrece empleo e ingresos a productores en más de 50 países, incluida la cadena completa de valores (ICO, 2024a). En el año 2023, a pesar de la caída observado en importantes productos que produjeron una caída del índice global de productos del 11 %, el sector cafetalero creció tanto en el Arábica (*Coffea arabica*) (+ 13 %) y como en el Robusta (*Coffea canephora*) (+ 58 %) (Lavazza, 2024).

En Cuba, las producciones de café verde han tenido una tendencia lineal negativa desde inicios de los años 60 hasta el año 2017, con pérdidas anuales promedios de casi 600 t/año. Según un estudio realizado hasta ese año por Montes et al. (2024), se alcanzó un máximo de 60 326 t en 1961 y un mínimo de 4 973 t en 2012. Factores como conflictos bélicos, la reducción de la mano de obra

calificada debido a la migración de los campesinos a las ciudades, la gestión inadecuada del sector y la guerra económica impuesta contra nuestro país por los gobiernos norteamericanos han afectado notablemente este sector. El gobierno cubano está enfrascado en activar este sector y tiene planes concretos en este sentido (MEP, 2023; Zamora & Olmedo, 2021).

Aunque el café Arábica es preferido en general por su mayor calidad para el consumo, el café Robusta está mejor preparado para enfrentar las anomalías que se desprenden del cambio climático (ICO, 2024a), y las ventajas de su cultivo a bajas alturas (Graytock, 2024). Considerando además que, un adecuado proceso de fermentación del café Robusta puede conseguir mejorar significativamente su perfil sensorial en la taza, para Cuba, la estrategia de recuperación del sector cafetalero no puede obviar la promoción del cultivo de esta especie y la introducción de mejoras en su proceso de beneficio. El objetivo del presente trabajo es analizar el proceso tradicional de beneficio del café e identificar algunas innovaciones tecnológicas para su mejora que se necesitaría desarrollar, para beneficiar la recuperación del sector.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**Análisis bibliométrico**

**Fuentes bibliográficas**

Se utilizó como motor de búsqueda la base de datos: ScienceDirect.com, una de las más importantes, no solo por la cantidad de documentos, sino también, por la alta calidad de las publicaciones almacenadas. El período en el que se realizó la búsqueda abarcó 25 años, desde el año 2000 hasta el año 2024.

En la búsqueda se utilizaron las palabras clave: coffee fermentation, coffee fermentation bioreactors, coffee fermentation stater culture, coffee market, coffee wastes valorization, coffee biorefinery, coffee circular-economy.

**Parámetros bibliométricos**

Se ajustó un modelo exponencial a la serie de datos de la cantidad de publicaciones por año:

$$N_p = k_0 e^{\mu t} \quad (1)$$

Donde:  $N_p$  es el número de publicaciones por año,  $k_0$  es un factor pre exponencial típico del área del conocimiento analizada,  $\mu$  es la velocidad específica de crecimiento del número de publicaciones en el período ( $\text{año}^{-1}$ ) y  $t$  es el año en el que se toma el dato. El ajuste del modelo se realizó con las herramientas estadísticas de MS Excel. Para el ajuste de este modelo solo se usó la palabra clave: *coffee fermentation*, por ser la más genérica.

Con el modelo ajustado se calculó el tiempo de duplicación del número de publicaciones en el período.

$$\tau_d = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (2)$$

Este dato muestra claramente la intensidad de las investigaciones en el período en estudio. Se analizó la proporción entre los diferentes tipos de documentos buscando mostrar el grado de asentamiento del conocimiento en el período. Se considera que documentos como enciclopedias y capítulos de libros contiene conocimientos

más constituidos y aceptados sobre el área de conocimientos.

**Análisis de Patentes**

Se usó el motor de búsqueda [www.freepatentonline.com](http://www.freepatentonline.com) con la misma palabra clave usada en el epígrafe anterior. Se precisó la búsqueda a los últimos 20 años, en las bases de datos siguientes: “US Patents, US Patent Applications, EP documents, Abstracts of Japan, WIPO (PCT) y German Patents (Beta)”. Se seleccionaron las 16 patentes de mayor puntuación, de acuerdo con el *ranking* elaborado por el sitio web. Se analizaron por palabras clave los temas principales a los que se dirigió la solicitud de las patentes.

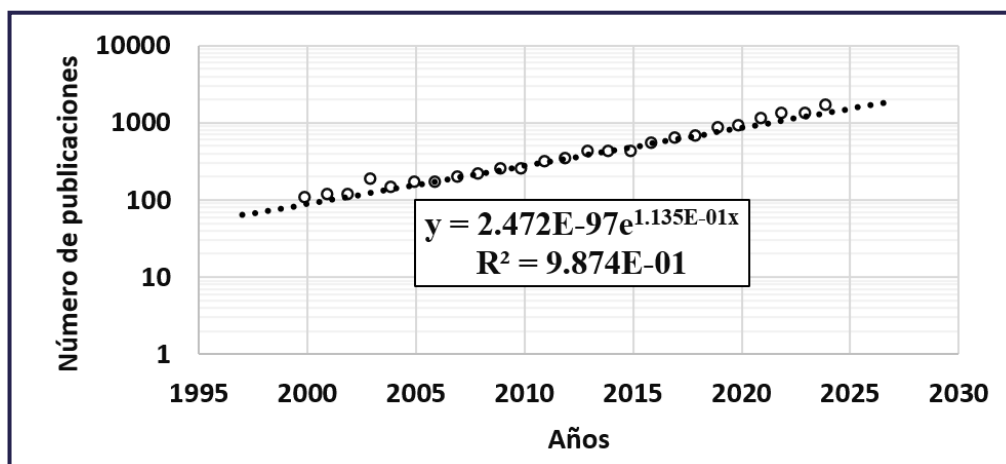
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Análisis bibliométrico esencial**

En la búsqueda de la palabra clave “*coffee fermentation*” se encontró una tendencia al crecimiento exponencial, ecuación (1), del número de publicaciones entre los años: 2000 al 2024. El ajuste mostró un nivel alto del coeficiente de determinación, superior a 0,98 (Fig. 1). La velocidad específica estimada del crecimiento de las publicaciones fue de  $0,1135 \text{ años}^{-1}$ , lo que indica que el número de publicaciones en el período estudiado se duplicaba cada 2,65 años, según la ecuación (2).

FIGURA 1

Dinámica del crecimiento de las publicaciones sobre fermentación del café



Nota: www.sciencedirect.com en el período de los últimos 25 años.

Según se observó en la Figura 1, existe un crecimiento muy acelerado del número de publicaciones en el cuarto de siglo analizado, lo que indica que la tecnología de postcosecha del café se encuentra en un período de cambio radical como ha ocurrido en el pasado con otras tecnologías de bebidas, como la cerveza y el vino. Esto es algo que se reconoce en la literatura como una necesidad, para enfrentar los retos actuales del cambio climático y las exigencias del mercado de calidad. Según Peluso (2023), “...Las empresas cafeteras deben adoptar la innovación para optimizar las técnicas de procesamiento, tostado y preparación, al mismo tiempo que fomentan la sostenibilidad y la calidad...”. Esto indica que Cuba debe sumarse a la carrera por la mejora de esta tecnología, teniendo en cuenta su experiencia en los procesos biotecnológicos, claves para las mejoras que se necesitan lograr.

El número total de publicaciones registradas en la búsqueda realizada alcanzó la cifra de 11 381 documentos, (Fig. 2). De este total, el 30,27 % se corresponden a publicaciones en capítulos de libros y enciclopedias. Este tipo de publicaciones recoge el conocimiento más asentado sobre el área específica de conocimiento. Es decir, casi una

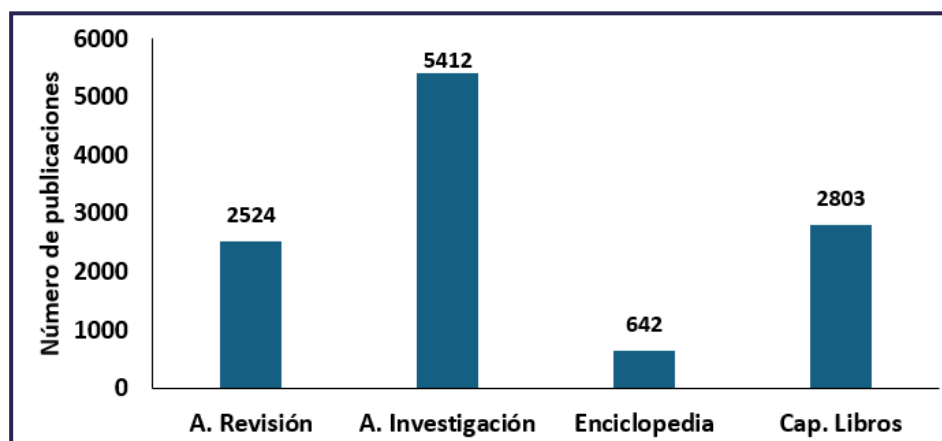
de cada tres publicaciones contiene información relevante para la fermentación del café, lo que se considera relevante; por lo que, el avance de estas investigaciones hacia innovación de la industria cuenta con información importante para lograrlo.

#### Análisis de las tendencias en las patentes

El análisis de las patentes (Tabla 1) muestra una incidencia mayoritariamente en el tema de la fermentación del café y el uso de disímiles tipos de microorganismos, para lograr mejoras del café. Esto incluyó bacterias ácido lácticas, levaduras y mohos.

**FIGURA 2**

*Distribución de las publicaciones según tipo de formato usado en este estudio*



**TABLA 1**

*Patentes relacionadas con el procesamiento postcosecha del café*

No.	Año	Palabras clave	Autor/Año
1	2005	Preparación de la bebida del café	(Milo & Duboc, 2005)
2	2006	Reactivo para análisis químico	(Jackels & Jackels, 2006)
3	2009	Fermentación, café verde, pulpa de café	(Yonezawa et al., 2009)
4	2010	Esterilización del grano, Fermentación, levadura, lactobacilo	(Takashi et al., 2010)
5	2010	Fermentación sólida, cultivo iniciador, mohos: basidiomicetos, ascomicetos	(Li et al., 2010)
6	2015	Fermentación, pectinasas recombinantes, <i>E. coli</i>	(Sandhu, 2015)
7	2016	Fermentación, cultivo iniciador, levadura. <i>Pichia Kluyveri</i>	(Saerens & Swiegers, 2016)
8	2018	Fermentación, mohos: <i>Aspergillus oryzae</i>	(Takahashi et al., 2018)
9	2020	Fermentación, lavado con agua caliente	(Akira et al., 2020)
10	2020	Fermentación, biorreactor	(Ho & Jin, 2020)
11	2021	Fermentación	(Lee, 2021)
12	2021	Hidro-lavador, despulpe	(Duarte & Villamil, 2021)
13	2022	Café verde, fermentación secundaria, <i>A. niger</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>A. sydowii</i>	(Lei, 2022)
14	2022	Extracto de cáscara y pulpa fermentada, $\beta$ -damascenona	(Tsuji et al., 2022)
15	2023	Fermentación, bajas temperaturas, café verde, inoculación	(Lee & Lee, 2023)
16	2024	Café verde, fermentación, micelio de hongo comestible	(Kim et al., 2024)

A pesar de la importancia otorgada al proceso de fermentación, no se observa la presencia de patentes dirigidas a perfeccionar el control del proceso mediante biorreactores que faciliten la asepsia o que permitan incrementar la productividad de esta etapa.

En sentido general hay poca elaboración teórica en las innovaciones propuestas, las que se basan principalmente en lo empírico para lograr la novedad. Llama la atención que la mayor parte de las patentes son asiáticas, Japón y Corea del Sur, mientras que no se observaron patentes de Brasil o Colombia en el tema de la fermentación. Dada la coyuntura actual antes descrita, la incidencia de la ciencia en el procesamiento del café se incrementará y por lo tanto, ha de esperarse una mayor cantidad de patentes en esta área del conocimiento.

### **Factores externos que influyen en el proceso tecnológico**

#### *Tendencias en la producción anual*

El despegue de las producciones del café Robusta es algo que se reconoce en el mundo como tendencia. Según un reporte de la Comisión Internacional del Comercio de los Estados Unidos (Graytock, 2024), existe una tendencia de los productores a incrementar la producción del café Robusta, más barato, con calidad mejorada. Esta especie del café tiene un gran potencial económico-productivo respecto al café Arábica: crece a mayores temperaturas, necesita de menos altitud y, es más resistente a la sequía, a las plagas y a las enfermedades (Graytock, 2024), además de contar con un mayor contenido de cafeína que el café Arábica (Caracostea et al., 2021). Sin embargo, en la actualidad el consumidor tiene preferencia por el café Arábica debido a una percepción de mejor calidad, dada por la mayor suavidad y riqueza de sus atributos sensoriales (Ruta & Farcasanu, 2021; Silva et al., 2024). Es por eso que actualmente la producción mundial de granos de café está dominada por esta especie, llegando a representar

entre un 60 y un 70 % de la producción mundial (Graytock, 2024).

Según estos autores, la producción mundial de café en el quinquenio de 2017 a 2022 se incrementó en un 2,2 %. Aunque en este período la producción del café Arábica permaneció casi invariable, la del café Robusta creció en un 4,3 %. El uso principal del café Robusta es para producir café soluble y mezclas, pero la introducción de procesos de fermentación con cultivos iniciadores está dando resultados muy positivos en el cambio de su percepción organoléptica, factor clave para incrementar su presencia en el mercado.

#### *El cambio climático como factor influyente*

El acelerado cambio climático que enfrenta actualmente nuestro planeta debido fundamentalmente a la actividad humana está teniendo y tendrá un impacto negativo considerable en la próxima década sobre la producción del café. Una compilación reciente realizada en Brasil (de Freitas et al., 2024), principal productor y exportador de café Arábica indica que, según los estudios realizados con un modelo agrometeorológico calibrado para este país, las áreas cultivables experimentarán una reducción notable debido principalmente al incremento de las temperaturas ambientales y a la escasez de agua, causas estas que también afectan sensiblemente al rendimiento del grano por hectárea cultivada. Todo esto, según estos autores, afectará tanto la calidad como la cantidad de café Arábica que se produzca. Se ha estimado que el cambio en las temperaturas afectará incluso la altura a la que deberá sembrarse el café Arábica. Según refiere (Jaleta, 2021), el café Arábica que se siembra en Nicaragua está a una altura que oscila entre 800 m y 1 200 m, pero para el 2050 los cafetales deberán incrementar el rango de su altura hasta 1 200 m y 1 600 m, lo cual incrementará los costos de la cosecha. Por otro lado, refiere este autor que por cada grado de temperatura que se incremente, en África oriental

se producirá una pérdida en el rendimiento de 116 kg ha<sup>-1</sup>. El calentamiento del clima se espera que produzca una reducción del rendimiento de 25 % en el sur de Minas Gerais, en Brasil.

En sentido general ha de esperarse que en el futuro próximo exista un considerable riesgo de crisis y desabastecimiento de café en el mundo, dada la alta sensibilidad del café Arábica al cambio climático y al alto peso que tiene en la producción y consumo global como se mencionó anteriormente.

Una posible solución al desabastecimiento mundial del café tendrá como eje principal el incremento del peso del café Robusta en el mercado, más preparado para enfrentar el cambio climático, el que deberá cambiar su proporción en el mercado desde un 30 % en la actualidad hacia el 70 % que tiene el café Arábica. Teniendo en cuenta que el café Robusta necesita mucho más de la fermentación que el Arábica para adquirir una calidad como la que demanda el consumidor, entonces el incremento de la producción del café Robusta con los niveles de productividad existentes en el proceso postcosecha implicará la necesidad de grandes inversiones y del incremento de los costos de producción. Superar este reto implica la necesidad de la ciencia y la innovación para modificar estos procesos y hacerlos más efectivos, rentables (Cortés et al., 2024) y que otorguen un beneficio competitivo en la calidad de la tasa de café servida.

#### *Influencia de la dinámica de los precios del mercado*

Según el reporte de la Organización Internacional del Café ICO (ICO, 2024b) desde mediados de 2023 el precio del café Robusta verde se incrementa de manera exponencial, llegando a tener un indicador compuesto promedio de precio del ICO de 5,256 USD/kg, que resultó ser superior en un 1% al del mes anterior. Esta tendencia se ha mantenido hasta el presente y debe estar relacionada con los eventos climáticos acaecidos en Brasil y Vietnam

que han mermado la producción mundial, algo que se entiende es consecuencia de las previsiones que se tienen sobre diversas afectaciones del cambio climático que tienden a reducir la producción mundial. Si como está previsto esta tendencia se mantiene, resulta un factor favorable para invertir en la industria para hacerla más productiva y efectiva en la calidad y estabilidad del producto que se entrega.

#### **Elementos claves en el proceso post cosecha**

##### *El proceso de fermentación del café*

Durante la fermentación del café se consiguen transformaciones que pre condicionan sustanciales mejoras en las características organolépticas del café, las que dependen de la comunidad microbiana presente y el tipo de fermentación que se utilice (Polanía et al., 2024; Silamba et al., 2024; Silva et al., 2024; Todhanakasem et al., 2024). Existen diferentes tipos de procesos fermentativos del café: seca, húmeda y semihúmeda (Wu et al., 2023). Cada una tiene sus ventajas y desventajas, pero le confieren al café características peculiares que sirven para satisfacer el gusto de unos y de otros.

**Fermentación seca o natural:** consiste en exponer los granos sin pelar en superficies sometidas a la incidencia directa del sol durante días en dependencia del clima, proceso en el que las pilas del grano se van removiendo a un ritmo adecuado para conseguir el secado uniforme de la pila del grano. Los granos se secan dentro de la cereza de café (sin despulpar) en patios o camas elevadas durante 15–30 días. En este proceso ocurre la fermentación espontánea del grano, dentro de la cereza durante el secado. Dentro de los microorganismos predominan los mohos (*Aspergillus*, *Penicillium*), las levaduras salvajes y las bacterias ácido-acéticas, por lo que la diversidad microbiana es muy alta. En dependencia del clima ocurre a temperatura entre 25–35°C, pasando gradualmente la humedad del grano desde 60 % hasta 10–12 %. Es un proceso de bajo costo, pero

que necesita de gran área para secar el grano. Este proceso, aunque produce buenos resultados es poco productivo, de baja eficiencia superficial e inestable debido a las afectaciones de los vaivenes del estado del tiempo, las diferencias de temperaturas entre la noche y el día y la variabilidad de la composición y concentración de la flora epifítica del grano. En este proceso, en ocasiones, se produce contaminaciones con micotoxinas (Casas et al., 2018; Garrido et al., 2018; Paterson et al., 2014), las que representan un serio problema para la salud humana. El perfil sensorial que se consigue se caracteriza en general por un cuerpo alto y sedoso, de un dulzor pronunciado con notas a fruta madura, chocolate o licor. Tiene el riesgo de terminar con defectos como los sabores fermentados o terrosos si hay sobre secado. La composición del café se caracteriza por tener mayor concentración de compuestos volátiles (ej. furaneol) asociados a sabores frutales. Tiene la ventaja relativa de que no requiere de agua para la fermentación y de que se consiguen perfiles únicos, atractivos para mercados de cafés exóticos.

**Fermentación semi seca:** también conocida como proceso “*pulped natural*” o “*honey process*” (en sus variantes), es un método híbrido entre el proceso lavado (húmedo) y el natural (seco). El café se despulpa (se retira la cáscara) pero se deja parte o la totalidad del mucílago (la capa pegajosa que rodea el grano) durante la fermentación y el secado. La fermentación puede ocurrir en dos etapas: una breve fermentación en húmedo (12–24 h) seguida de un secado con mucílago. Dentro de las variantes se tienen el Honey Blanco, en el que se retira aproximadamente el 80 % del mucílago y, están también el Honey Amarillo, el Rojo y el Negro que dependen del grosor del mucílago residual y del tiempo de secado (5–20 días). La duración total de la fermentación está entre las 12–48 h (dependiendo del clima y el perfil deseado). Los microorganismos involucrados incluyen el dominio de las levaduras (*Pichia*, *Saccharomyces*) y de las bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus*),

pero el microbiota varía según la región y el manejo poscosecha. Normalmente se efectúa a temperaturas que oscilan entre 20 y 30°C, con humedad relativa controlada para evitar mohos.

El perfil sensorial se caracteriza por un dulzor alto, debido a los azúcares residuales del mucílago, su acidez es media, menos pronunciada que en el proceso lavado, el cuerpo resulta cremoso y viscoso, con notas comunes de caramelo, frutas secas, miel y chocolate. Es típica una mayor concentración de polisacáridos y compuestos fenólicos que la que se consigue en el proceso lavado. Desde el punto de vista ambiental tiene de positivo que requiere mucho menos agua que el proceso lavado, solo de 1–3 l/kg de café. Muy positivo es que permite ajustar el perfil de sabor modificando el grosor del mucílago y el tiempo de secado, por lo que es atractivo para consumidores que buscan el equilibrio entre dulzor y acidez.

**Fermentación húmeda:** el grano despulpado se sumerge en agua para remover el mucílago adherido al pergamino del grano mediante la acción de microorganismos, los que aportan ácidos y otros productos de su metabolismo que producen cambios organolépticos en este que resaltan la calidad del café durante el posterior proceso de torrefacción controlada. La fermentación húmeda ofrece un ambiente más controlado a las contaminaciones y proporciona una vía para usar cultivos iniciadores que aportan notablemente atributos positivos al aroma y sabor del café (Gänzle et al., 2024; Ruta & Farcasanu, 2021). Dentro de los microorganismos que predominan en este proceso se citan (Cruz et al., 2020; Neto et al., 2020): las levaduras *Pichia guilliermondii*, *P. anomala*, *Kluyveromyces marxianus* y *Saccharomyces cerevisiae*. Dentro de las bacterias están entre otras: *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactococcus lactis*, y *Lactobacillus brevis*. Ambientalmente este proceso tiene el problema de que consume mucha agua, unos 40 l/kg de café con pergamino y libera agua residual rica en azúcares y aminoácidos libre (Campos, 2022).

Como resultado se consigue que el café tenga una acidez alta y brillante como a cítricos o manzana verde. El cuerpo resulta ligero a medio, con notas a sabores “limpios” y balanceados, con predominio floral o herbal.

### **Necesidad de la innovación de los procesos del beneficio del café**

Estos procesos de fermentación tradicionales contribuyen enormemente al éxito del café para satisfacer una gran variedad de gustos. Se podría decir que son imprescindibles, sin embargo, se necesita trabajar en innovarlos para hacerlos más productivos. Dentro de los aspectos críticos de estos procesos fermentativos se encuentra su productividad, la baja eficiencia productiva, la poca estabilidad en los resultados de mejora de la calidad del grano, el alto consumo de agua y la producción de considerables residuos mal aprovechados que terminan contaminando el medio ambiente pudiendo ser reciclados para producir mayor valor agregado a estas producciones.

Dentro de las posibles soluciones en el ámbito de la innovación está el desarrollo de una *plataforma productiva*, para disponer de una cartera de microorganismos iniciadores que permita lograr de manera controlada el desarrollo de precursores efectivos de los perfiles sensoriales específicos, dirigidos a satisfacer determinadas necesidades de los nichos del mercado identificados. El cultivo mixto de levaduras y bacterias ácido-lácticas es una tendencia actualmente (Cortés et al., 2024; Cruz et al., 2020; Ferreira et al., 2024; Gänzle et al., 2024; Júnior et al., 2024; Mahanil et al., 2024; Polanía et al., 2024; Ruta & Farcasanu, 2021; Silamba et al., 2024). En este sentido, la industria cafetalera debe contar con una instalación productora de estos inóculos, formulados de tal modo que sea fácil su transporte y almacenamiento. La formulación de cepas liofilizadas podría ser una posible solución en atención a los lugares remotos donde podrían estar las plantas de beneficio del café. Estos liofilizados de

las cepas son menos exigentes para su conservación y mantenimiento aséptico. Una planta productora de estos inóculos contaría con pocas operaciones y dada el consumo de este material no serían instalaciones costosas, pudiendo aprovecharse instalaciones multi productos como las existentes en Cuba para estos fines.

En la etapa de fermentación, cada tipo existe puede experimentar algunos cambios que tienden a aumentar su productividad y a hacer más controlado el proceso atendiendo a los aspectos críticos que la limitan. La productividad y estabilidad en los tres tipos de fermentación puede mejorarse con el uso de variantes de biorreactores tanto para la fermentación húmeda como para la fermentación seca y semiseca. Este cambio está reflejado ya en las publicaciones científicas como tendencia (Cortés et al., 2024; Elhalis et al., 2023; Júnior et al., 2024; Neto et al., 2020; Peñuela et al., 2023; Salem et al., 2020). Al igual que la industria vinícola y cervecera que se transformaron desde las producciones tradicionales hacia las industriales, en la cafetalera ha de esperarse que también ocurra un salto en el procesamiento del grano. Las etapas de torrefacción y formulación de mezclas ya muestran un gran avance en cuanto a su modernización y eficiencia.

Entonces, la fermentación húmeda podrá usar los diferentes modos de operación de los biorreactores. Para ello se necesita estudiar desde el punto de vista técnico y económico cuál será el mejor sistema de contacto para fermentar el café: discontinuo, semicontinuo o continuo en sus diferentes variantes, de acuerdo con la capacidad productiva instalada. Normalmente, se conoce que para pequeñas y medianas producciones son preferibles los modos discontinuos o semicontinuos, pero para grandes volúmenes productivos, la operación continua resulta insustituible. En general, la productividad de estos sistemas aumenta desde el proceso discontinuo hasta el continuo. La

ganancia en productividad permitirá inversiones menos costosas y por lo tanto, más rentables. El avance de la experiencia acumulada en la industria biotecnológica hacia la industria del café es uno de los rasgos claves a estudiar para el salto tecnológico en este sector agroindustrial.

En el caso de las fermentaciones secas y semi húmedas, la alternativa es el uso de biorreactores para procesos de fermentación en estado sólido. Al igual que en la fermentación sumergida existen diferentes modos de operación y configuración constructiva (Mitchell et al., 2006), que es importante considerar para elegir el más adecuado para intensificar estos procesos.

*Diversificación y sostenibilidad de las producciones cafeteras*

Otro elemento importante en la innovación de las producciones cafeteras es hacerlas más sostenibles, amigables con el medioambiente, que contribuyan eficientemente con el desarrollo local en los lugares donde se produce, logrando diversificar sus producciones para promover la economía circular y la sinergia con otras agroindustrias.

El procesamiento del café produce una gran variedad de subproductos con una rica composición química dentro de los que se encuentran (Mesa et al., 2024): la cáscara del fruto (120–180 kg/t de fruto fresco), la pulpa, el mucílago, el pergamino o piel plateada (35–61 kg/t de fruto fresco) y el café molido ya usado que es el más abundante (650 kg/t fruto fresco). Estos subproductos en su gran mayoría no se aprovechan debidamente y terminan siendo un peligro ambiental por las emanaciones de CO<sub>2</sub> y la contaminación de los suelos con lixiviados de metabolitos secundarios tóxicos (Mesa et al., 2024).

Dada la rica composición química de los residuos del procesamiento del café (Mesa et al., 2024), se podrían producir múltiples productos de alto valor

agregado (Cavanagh et al., 2023; Hikichi et al., 2017) en un contexto de biorrefinería (Aristizábal et al., 2017) y de economía circular (ICO, 2024a), capaz de reducir el consumo de productos externos al sistema local, haciendo más orgánica su producción y generando una rentabilidad adicional para esta agroindustria. Entonces, otra problemática a resolver, para intensificar esta industria es el rediseño del proceso de beneficio del café para cerrar el ciclo de la cadena de valor de la industria del café (Tsigkou et al., 2025), desarrollando un complejo productivo bajo el concepto de biorrefinería, con alta integración másica y energética, capaz de generar vínculos productivos que promuevan la economía circular y el desarrollo local.

**Otros elementos por considerar en el proceso de mejoras**

*La inteligencia artificial para hacer más efectivo el beneficio del café*

La calidad sensorial que se obtiene en el café tostado depende de una cadena de procesos y acontecimientos que depende de múltiples factores que hacen muy difícil diseñar las operaciones de cosecha y beneficio del grano del café en un modo especificado, que permita lograr al final de la cadena productiva la calidad sensorial que se desea obtener. Esto hace muy empírica a esta industria y limita la efectividad de sus producciones con las afectaciones económicas correspondientes.

En la actualidad los modelos de la Inteligencia Artificial (IA) se aplican cada vez a la modelación matemática para el diseño de los bioprocesos (Martil, 2022). Según Adadi et al. (2024) y Gänzle et al. (2024), la IA permite intensificar los procesos de fermentación del café, identificando las interacciones de los microorganismos y la optimización de las variables de operación del proceso. Adicionalmente como reconocen estos autores y Bagnulo et al. (2024), estas herramientas integradas a las técnicas analíticas como NIR, FTIR, NMR, GC/MS, entre otras pueden ayudar

a identificar la identidad del café y predecir los rasgos del perfil sensorial del café molido (Kelis et al., 2025; Natsume & Okamoto, 2025; Tsigkou et al., 2025). Siendo esto así, ha de esperarse que esta integración sirva para elaborar el diseño del procesamiento del café como un sistema que permitirá diseñar de forma controlada alcanzar los perfiles sensoriales que se deseen en el producto terminado.

#### *Necesidades de capacitación del sector del café en Cuba*

Como se explicó anteriormente las producciones de café en el país han tenido una tendencia negativa desde los años 60 por diversas razones socioeconómicas, entre ellas la migración desde el campo hacia las ciudades. En Colombia, uno de los principales productores de café del mundo, el área agrícola representa el 94 % del territorio nacional, sin embargo, allí habita solamente el 24 % de la población de ese país, la cual vive en condiciones de pobreza o pobreza extrema (Rojas et al., 2021). Todo esto asociado a menores oportunidades de desarrollo para el obrero de la agroindustria, no ha permitido desarrollar una infraestructura de recursos humanos altamente especializada en el sector del café y la cultura tecnológica existente es limitada y está afectada por la inestabilidad del personal.

Dentro de los elementos que limitan la estabilidad del personal del sector, es el sentido de pertenencia (Loor & Deroncele, 2018), el cual está asociado entre diversos factores con el grado de capacitación y especialización de los trabajadores.

La determinación de las necesidades de superación de este sector productivo y la elaboración de productos académicos, para asegurar la demanda de capacidades necesarias deberá constituir un trabajo en paralelo para los procesos de mejora de la agroindustria cafetera.

## CONCLUSIONES

La recuperación de la producción de café en Cuba deberá contar, como se está haciendo, con la priorización de la producción de café Robusta, teniendo en cuenta las previsiones sobre el cambio climático y la resiliencia de esta especie ante el escenario esperado.

El incremento de la producción de café Robusta deberá suplir la carencia de café Arábica, especie cuya producción supera en más de doble la actual producción mundial.

La menor calidad sensorial de la taza de café Robusta requiere de mayor atención y costos en el procesamiento postcosecha de este grano, por lo que se requerirá de procesos más productivos y menos costosos que los que tradicionalmente existen actualmente.

El uso de cultivos iniciadores permite conseguir una gran variedad de perfiles organolépticos deseados en el producto final por lo que se debe prestar gran atención en desarrollar un banco de cepas que permita fermentar el café con consorcios de estas cepas según las necesidades del mercado.

Se necesita desarrollar procesos de fermentación más controlados y productivos que permitan aprovechar al máximo el potencial nutricional de la biomasa disponible en el grano.

Un análisis de las patentes de los últimos 20 años revela que la innovación se ha centrado en la fermentación con el uso de cultivos iniciadores muy variados.

La introducción de las herramientas de la inteligencia artificial permitirá realizar procesos más precisos y controlados, capaces de efectuarse en función de la calidad deseada en el producto final.

La sostenibilidad de las producciones cafeteras puede lograrse con el reciclaje de los residuos que producen lo que permitirá agregar valor a la economía del proceso, importante factor para enfrentar los retos futuros de intensificación de estas producciones.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adadi, P., Mensah, E., Blay, B., Ahmmed, M., Sumaiya, K., Agyei, D., & Kebede, B. (2024). Advancements in civet coffee production and analytical techniques: From aroma profiling to market dynamics and ethical considerations. *Trends in Food Science & Technology*, 154, 104772. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104772>
- Akira, H., Shimpei, H., & Yuta, N. (2020). *Method For Producing Fermented Coffee Beans* (Japan Patent No. U. P. Office. Young Youb SONG)
- Aristizábal, V., Chacón, Y., & Cardona, C. (2017). The biorefinery concept for the industrial valorization of coffee processing by-products. In C. M. Galanakis (Ed.), *Handbook of Coffee Processing By-Products* (1st ed., pp. 63-92). Elsevier Inc.
- Bagnulo, E., Strocchi, G., Bicchi, C., & Liberto, E. (2024). Industrial food quality and consumer choice: Artificial intelligence-based tools in the chemistry of sensory notes in comfort foods (coffee, cocoa and tea). *Trends in Food Science & Technology*, 147(104415). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104415>
- Campos, G. (2022). *Wet-coffee processing production wastes: Quality, Potentials, and Valorization Opportunities* [Tesis de Doctorado, Universität Potsdam]. DOI:10.25932/publishup-55882.
- Caracostea, L., Sîrbu, R., & Sîrbu, R. (2021). Determination of Caffeine Content in Arabica and Robusta Green Coffee of Indian Origin. *European Journal of Natural Sciences and Medicine*, 4(1), 69-79. DOI:10.26417/425qba31z.
- Casas, P., Ascencio, F., & Ragazzo, J. (2018). Determination of potentially mycotoxigenic fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) from Nayarit. *Food Science and Biotechnology*, 27(3), 891–898. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0288-7>.
- Cavanagh, Q., Brooks, M., & Rupasinghe, H. (2023). Innovative technologies used to convert spent coffee grounds into new food ingredients: Opportunities, challenges, and prospects. *Future Foods*, 8(100255). <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100255>.
- Cortés, V., Monje, A., Vanegas, J., & Guzmán, N. (2024). Challenges in coffee fermentation technologies: bibliometric análisis and critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 61(12), 2223-2234. doi: 10.1007/s13197-024-06054-5.
- Cruz, R., Piraneque, N., Aguirre, S., & Ramirez, J. (2020). Microorganisms in coffee fermentation: A bibliometric and systematic literature network analysis related to agriculture and beverage quality (1965-2019). *Coffee Science*, 15, e151773. <https://doi.org/10.25186/v15i.1773>.
- de Freitas, C., Coelho, R., Costa, J., & Sentelhas, P. (2024). Abittercupofcoffee? Assessing the impact of climate change on Arabica coffee production in Brazil. *Science of The Total Environment*, 957, 177546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177546>.
- Duarte, A., & Villamil, E. (2021). *Eco-Friendly Horizontal-Axis Hydro washer for Fermented Coffee* (Colombia Patent No. 20210227870).
- Elhalis, H., Cox, J., & Zhao, J. (2023). Coffee fermentation: Expedition from traditional

- to controlled process and perspectives for industrialization. *Applied Food Research*, 3, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100253>.
- Ferreira, L., Bertarini, P., Amaral, L., Gomes, M., Oliveira, L., & Santos, L. (2024). Coinoculation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus amyloliquefaciens* in solid-state and submerged coffee fermentation: Influences on chemical and sensory compositions. *Food Science and Technology*, 202, 116299. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116299>.
- Gänzle, M., Monnin, L., Zheng, J., Zhang, L., Coton, M., Sicard, D., & Walter, J. (2024). Starter Culture Development and Innovation for Novel Fermented Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15, 211–239. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-072023-034207>.
- Garrido, E., Hernández, E., Espinosa, N., Camas, R., Quiroga, R., Rincón, M., & Farrera, L. (2018). Identificación de Hongos y Micotoxinas Asociadas a Granos de Café (*Coffea L.*) en Chiapas, Mexico. *Agroproductividad*, 11(12), 57-64. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i12.1307>
- Graytock, A. (2024). *Is Robusta on the Rise? Trends in Coffee Species Trade*. U.S. International Trade Commission.
- Hikichi, S., Andrade, R., Dias, E., & Duarte, W. (2017). Biotechnological applications of coffee processing by-products. In C. M. Galanakis (Ed.), *Handbook of Coffee Processing By-Products* (1st ed., pp. 221-244). Elsevier Inc.
- Ho, J., & Jin, P. (2020). *Method for Fermenting Green Coffee Beans, and Fermentation Container Therefor* (Corea de Sur Patent No. WO2020251220A1
- International Coffee Organization's. (2024a). *Beyond Coffee- Towards a Circular Coffee Economy Overview* (Coffee Development Report 2022-23, Issue.
- International Coffee Organization's. (2024b). *Robustas at 47-year high for two consecutive months* (Coffee Market Report, Issue.
- Jackels, C., & Jackels, S. (2006). *Coffee Fermentation Kit and Method* (USA Patent No. US20060204620A1
- Jaleta, A. (2021). Climate Change and Coffee Production: A Review. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 12(1). <https://www.omicsonline.org/open-access-pdfs/climate-change-and-coffee-production-a-review.pdf>
- Júnior, C., Batista, N., Martinez, S., Bressani, A., Dias, D., & Schwan, R. (2024). Impact of scaling up on coffee fermentation using starter cultures. *Applied Food Research*, 4(2). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100611>.
- Kelis, V., Balog, J., Zsellér, V., Karancsi, T., Sabin, G., & Hantao, L. (2025). Prediction of coffee traits by artificial neural networks and laser-assisted rapid evaporative ionization mass spectrometry. *Food Research International*, 203, 115773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115773>
- Kim, S., Kim, H., Choi, K., & Cho, M. (2024). *Method for Producing Fermented Coffee Cultured with Grain Solid-Type Mushroom Mycelium Seeds* (Corea del Sur Patent No. KR101954349B1).
- Lavazza, G. (2024). *Annual Report 2023*. C. Communication.
- Lee, P. (2021). *System and Method of Manufacturing a Fermented Coffee Formulation* (USA Patent

- No. US11470852B2).
- Lee, S., & Lee, H. (2023). *Method for Producing Fermented Green Coffee Beans by Complex Fermentation, and Fermented Green Coffee Beans Produced Thereby* (Corea del Sur Patent No. KR101954349B1).
- Lei, F. (2022). *Secondary-Fermentation Method for Coffee, and Coffee* (China Patent No. WO2022233091).
- Li, P., Li, C., & Li, C. (2010). *Method for Manufacturing Coffee by Solid-State Fermentation* (USA. Patent No. US20100239711A1).
- Loor, D., & Deroncele, N. (2018). Sentido de pertenencia laboral desde una perspectiva psicosocial formativa. *Maestro y Sociedad*, 15-26. <https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/3373>
- Mahanil, S., Athinuwat, D., Klomchit, A., & Phonwong, K. (2024). Assessing the Impact of Yeast Fermentation in Dry Processing on Coffee Quality from *Coffea arabica* cv. Caltimor, *C. arabica* cv. Bourbon and *C. canephora* cv. Robusta. *Trends in Sciences*, 21. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.8132>
- Martil, D. (2022). *Dynamic modelling of Saccharomyces cerevisiae Central Carbon Metabolism* [Tesis de Doctorado, Technische Universiteit Eindhoven]. [https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/216368731/20221020\\_Lao\\_Martil\\_hf.pdf](https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/216368731/20221020_Lao_Martil_hf.pdf).
- Mesa, D., Figueroa, J., Leyes, E., Castillo, C., Collazo, A., Nunez, H., Viltres, D., Mirabal, Y., & Coll, Y. (2024). Preliminary Physical and Chemical Characterization of By-Products from Cuban Coffee Production. *Foods*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/foods13213348>
- Milo, C., & Duboc, P. (2005). *Fermented Coffee Beverage* (USA Patent No. WO 2005/048727 A1).
- Mitchell, D. Krieger, N., & Berovic, M. (2006). *Solid-State Fermentation Bioreactors* (1st ed.). Springer.
- Montes, R., Vasallo, L., Martínez, L., Escarré, A., & Bonet, A. (2024). Cuban Coffee Production: An Analysis from 1950 to 2017. *International Journal of Cuban Studies*, 16(1). <https://doi.org/10.13169/intejcubastud.16.1.0123>
- Natsume, H., & Okamoto, S. (2025). Cross-Brand Machine Learning of Coffee's Temporal Liking from Temporal Dominance of Sensations Curves. *Applied Sciences*, 15(948). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app15020948>
- Neto, D., Pereira, G., Finco, A., Rodrigues, C., Carvalho, J., & Soccol, C. (2020). Microbiological, physicochemical and sensory studies of coffee beans fermentation conducted in a yeast bioreactor model. *Food Biotechnology*, 34(2), 172–192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/08905436.2020.1746666>
- Paterson, R., Lima, N., & Taniwaki, M. (2014). Coffee, mycotoxins and climate change. *Food Research International*, 61, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.037>
- Peluso, M. (2023). Navigating the Coffee Business Landscape: Challenges and Adaptation Strategies in a Changing World. *Proceedings*, 89(22). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ICC2023-14825>
- Peñuela, A., Moreno, S., & Medina, R. (2023). Influence of Temperature-Controlled Fermentation on the Quality of Mild Coffee (*Coffea arabica* L.) Cultivated at Different Elevations. *Agriculture*, 13, 1132. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ag13111132>

- org/10.3390/agriculture13061132.
- Polanía, A., López, J., Torres, L., & Plaza, J. (2024). Development of Starter Inoculum for Controlled Arabica Coffee Fermentation Using Coffee By-Products (Pulp and Mucilage Broth), Yeast, and Lactic Acid Bacteria. *Fermentation*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/fermentation10100516>
- Rojas, Y., Vásquez, W., & Moreno, D. (2021). Evaluación de la calidad de vida en el trabajo en productores de café en Cundinamarca, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1), e1885. [https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num1\\_art:1885](https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:1885)
- Ruta, L., & Farcasanu, I. (2021). Coffee and Yeasts: From Flavor to Biotechnology. *Fermentation*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/fermentation7010009>
- Saerens, S., & Swiegers, H. (2016). *Enhancement of Coffee Quality and Flavor by Using Pichia Kluyveri Yeast Starter Culture for Coffee Fermentation* (DK Patent No. WO2014177666A1).
- Salem, F., Lebrun, M., Mestres, C., Sieczkowski, N., Boulanger, R., & Collignan, A. (2020). Transfer kinetics of labeled aroma compounds from liquid media into coffee beans during simulated wet processing conditions. *Food Chemistry*, 322(126779). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126779>
- Sandhu, C. (2015). *Targeted Pectin Hydrolysis by Recombinant E. Coli Expressing Chimeric Pectinases to Facilitate Coffee Fermentation* (USA Patent No.
- Silamba, I., Salengke, S., Adiansyah, & Hasizah, A. (2024). Enhancing coffee sensory quality: unleashing synergistic effects of selected microorganism starter cultures and ohmic heating technology. *OP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1356(1), 012034 DOI:10.1088/1755-1315/1356/1/012034
- Silva, L., Pereira, P., Cruz, M., Costa, G., Rocha, R., Bertarini, P., Amaral, L., Gomes, M., & Santos, L. (2024). Enhancing Sensory Quality of Coffee: The Impact of Fermentation Techniques on Coffea arabica cv. Catiguá MG2. *Foods*, 13(653). <https://doi.org/10.3390/foods13050653>
- Takahashi, K., Minami, Y., Kanabuchi, Y., Togami, K., & Mitsuhashi, M. (2018). *Method of Processing Green Coffee Beans* (Japan Patent No. U. S. P. Office.
- Takashi, S., Maho, K., Kazuo, T., & Takahiro, I. (2010). *Method for Producing New Fermented Coffee and Fermented Coffee Produced Thereby* (Japan Patent No. J. INPIT.
- Todhanakasem, T., Tai, N., Pornpukdeewattana, S., Charoenrat, T., Young, B., & Wattanachaisaerekul, S. (2024). The Relationship Between Microbial Communities in Coffee Fermentation and Sense and Metabolite Profiles of Finished Products. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3848032/v1>.
- Tsigkou, K., Demissie, B., Hashim, S., Ghofrani, P., Thomas, R., Mapinga, K., Kassahun, S., & Angelidaki, I. (2025). Coffee processing waste: Unlocking opportunities for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 210(115263). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115263>.
- Tsuji, S., Fujiwara, H., & Nakashima, K. (2022). *Extracted and Fermented Composition of Coffee Cherry Pulp and Skin and Method for Producing Same* (Japan Patent No. JP 2018-057369 A).
- Wu, H., Viejo, C., Fuentes, S., & Suleria, H. (2023).

The Impact of Wet Fermentation on Coffee Quality Traits and Volatile Compounds Using Digital Technologies. *Fermentation*, 9, 68. <https://doi.org/10.3390/fermentation9010068>.

Yonezawa, T., Yomo, H., & Nakajima, T. (2009). *Method of Processing Green Coffee Beans by Using Surface-Treated Coffee Cherries* (Japan Patent No.EP1875807B1).

Zamora, A., & Olmedo, J. (2021). *Plan de Acción para la Implementación de las 63 Medidas Aprobadas para Dinamizar la Producción Agropecuaria*. La Habana: CITMA.