



Revisiones / Reviews

## Eficacia de sistemas expertos en la selección de granos de café (*Coffea arabica*): una revisión sistemática

### Effectiveness of expert systems in the selection of coffee beans (*Coffea arabica*): a systematic review

Merly Monsalve-Vásquez <sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

Recibido: 23/11/2021  
Aceptado: 29/12/2021  
Publicado: 25/01/2022

\*Autor de correspondencia: [mvmmerly@alumno.unsm.edu.pe](mailto:mvmmerly@alumno.unsm.edu.pe)

**Resumen:** La selección de granos de café es importante para su productividad; sin embargo, productores de baja o mediana escala realizan este proceso de forma manual, ocasionando limitaciones que afectan su producción o comercialización. El artículo tuvo como objetivo analizar la eficacia de los sistemas expertos en la selección de granos de café. Para ello, el estudio consistió en una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos de Xplore IEEE, ScieDirect y SpringerLink, de artículos publicados en revistas indizadas a Scopus, WoS o Scielo; entre los años 2015 y 2021. El resultado de la revisión fue una matriz de información según autor, título del artículo, técnicas o modelos y eficacia de los sistemas expertos. Entre ellos, destacan el uso de los parámetros de procesamiento de imágenes RGB convertidos en HSV, como HSL; y la efectividad de los sistemas, en todos los casos fueron superiores al 80%. La revisión concluye que los sistemas expertos son eficaces para la selección de granos de café, debido a que optimizan tiempo y mejoran la calidad en la selección de granos.

**Palabras clave:** inteligencia artificial; procesamiento de imágenes; efectividad; visión artificial

**Abstract:** The selection of coffee beans is important for their productivity; however, small or medium-scale producers carry out this process manually, causing limitations that affect their production or marketing. The article aimed to analyze the effectiveness of expert systems in the selection of coffee beans. For this, the study consisted of a systematic review of the literature in the Xplore IEEE, ScieDirect and SpringerLink databases, of articles published in journals indexed to Scopus, WoS or Scielo; between 2015 and 2021. The result of the review was a matrix of information according to author, article title, techniques or models, and the effectiveness of expert systems. These include the use of RGB image-processing parameters converted to HSV, such as HSL; and the effectiveness of the systems in all cases were greater than 80%. The review concludes that expert systems are effective for the selection of coffee beans, because they optimize time and improve quality in the selection of beans.

**Keywords:** artificial intelligence; image processing; effectiveness; artificial vision

## 1. Introducción

La producción y comercialización del café (*Coffea arabica*) representa el sustento de millones de agricultores (Pham et al., 2019), siendo un producto básico e importante en el mundo (Lopes et al., 2020) por brindar beneficios a la salud humana (Bonilla Medina, 2017). En este sentido, Smith Dumont et al. (2019) consideran pertinente el conocimiento técnico-agrícola para su productividad y sostenibilidad; caso contrario, el rendimiento del cultivo y futura comercialización se verán afectados.

De acuerdo al análisis estadístico realizado por Ocampo Lopez & Alvarez-Herrera (2017) sobre las cafeteras reportadas por la Organización Internacional del Café, países como Brasil, Vietnam, Indonesia, Honduras, Nicaragua y Perú, son tendencias de surgimiento en su producción; en cambio, países africanos y algunos latinoamericanos (Costa Rica, Cuba, Ecuador, etc.), tendencias decrecientes, debido a factores de variabilidad climática, volatilidad de precios, escases de mano de obra e incremento de precio de producción.

En Perú, el café es uno de los principales productos de agroexportación, contando con 420 000 ha dedicadas al cultivo, además la producción representa el sustento de 223 000 familias (Julca-Otiniano et al., 2018). Ahora, pese a las dificultades logísticas del proceso de cosecha y embarque ocasionados por la pandemia de la covid-19, la producción y exportación de café sumaron un total de 4 739 000 quintales, por un valor de 658 000 000 dólares, lo que evidencia su importancia en el crecimiento económico de una nación (Junta Nacional del Café, 2021).

El proceso de selección del grano es sustancial para la productividad del café, ya que seleccionar granos de calidad contribuye al cultivo eficiente y al mismo tiempo asegura el comercio en el mercado internacional con parámetros óptimos de forma, color y tamaño (Oscoco Medina et al., 2020). Sin embargo, los cafetaleros, especialmente de zonas rurales, realizan este proceso de forma manual, por lo que las decisiones tomadas en la selección son subjetivas y tienden a ser erróneas (Rosas-Echevarría et al., 2019).

Esta selección empírica, según Hailu (2015) citado en Rosas-Echevarría et al. (2019), puede deberse a factores asociados al cansancio y la baja experiencia y velocidad de procesamiento de los inspectores humanos, ocasionando la selección de semillas defectuosas e inversión económica sobrecargada, que finalmente repercuten en la sostenibilidad monetaria de la producción del café y generan deficiente competitividad de la caficultura (Vives Garnique et al., 2014).

Frente a ello, a nivel industrial, la selección de granos de café se ha tecnificando empleando tecnologías modernas que innovan y agilizan su proceso; no obstante, estas presentan elevados costos de adquisición y son inaccesibles para productores de café a pequeña o mediana escala. En tal sentido, las técnicas de procesamiento de imágenes mediante visión artificial articulados como sistemas expertos han representado una alternativa eficiente y económica para su aplicabilidad en la selección de granos (Rosas-Echevarría et al., 2019).

Entiéndase por sistema experto, también llamado sistemas basados en conocimiento, una herramienta informática para realizar tareas cognitivas de forma potente y automática. Esta es parte de la rama de la Inteligencia Artificial (IA) que tiene como función imitar el razonamiento humano desde máquinas para reproducir la manera de adquirir conocimiento y enmendar los procesos para seguir generándolo (Sandoval Pillajo et al., 2021).

Es de prioridad investigar cuáles son las particularidades que estos sistemas aplican en la selección de granos y analizar la eficacia que brindan a los productores cafetaleros en la selección de calidad, reducción de costos u optimización de tiempo. Cabe precisar que la literatura evidencia escasos trabajos que se enfoquen en la revisión bibliográfica abordada, por ende, es conveniente actualizar el estado del arte para que los investigadores puedan discutir y robustecer investigaciones en tecnificación del proceso de producción de café.

Bajo este panorama, se planteó el objetivo de analizar la eficacia de los sistemas expertos en la selección de granos de café (*Coffea arabica*). Para ello, se realizó un artículo de revisión a partir

de las siguientes preguntas de investigación: P1: ¿Cuál es la situación de la producción científica sobre sistemas expertos para la selección de granos de café a nivel mundial? y P2: ¿Cuál es la eficacia de los sistemas expertos en la selección de granos de café?

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Metodología

La Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), tal como afirman Benet Rodríguez et al. (2015), profundiza la revisión del estado del arte sobre un determinado tema y responde una o más interrogantes de investigación. Además, contribuye a la comunicación científica con la síntesis y evaluación crítica de los resultados de artículos primarios, a fin de generar ideas para el desarrollo de futuros trabajos científicos.

Este artículo se basó en la metodología de RSL propuesta por Gómez-Luna et al. (2014) para responder las preguntas de investigación planteadas. Los autores proponen un protocolo de tres fases para la estructuración y sistematización de la revisión y gestión de la información científica, presentadas a continuación:

#### 2.1.1. Búsqueda de información

Se buscó información en bases de datos electrónicos de carácter científico, siendo la principal fuente de información IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Además, se extendió la búsqueda en bases de datos de editoriales internacionales reconocidas como ScienceDirect y SpringerLink. La Tabla 1 presentan los enlaces de las bases de datos consultadas.

**Tabla 1.** Bases de datos consultadas

Base de datos	Enlace
IEEE	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a>
ScienceDirect	<a href="http://www.sciencedirect.com/">http://www.sciencedirect.com/</a>
SpringerLink	<a href="https://link.springer.com/">https://link.springer.com/</a>

Como parte del protocolo, se empleó una ecuación con operadores booleanos según términos o palabras clave de búsqueda: "(café OR coffea arabica) AND (selección OR selección de café) AND (sistema experto OR inteligencia artificial OR visión artificial)"; la cantidad de artículos resultantes se muestran en la Tabla 2. La ecuación se adecuó por cada base de datos y fue traducida al idioma inglés; asimismo, los resultados arrojados por las bases de datos se refinaron por criterios de inclusión y exclusión mostradas en la Tabla 3.

**Tabla 2.** Cantidad de artículos reportados

Bases de datos consultados	Resultados
IEEE	169
ScienceDirect	1 753
SpringerLink	157
<b>Total</b>	<b>2 079</b>

**Tabla 3.** Criterios de inclusión y exclusión

Parámetros de inclusión	Parámetros de exclusión
Artículos originales	Artículos de revisión
Proceedings y capítulo de libro	Documentos considerados literatura gris
Documentos relevantes y pertinentes al tema	Artículos de años anteriores a los establecido para la revisión
Artículos de revistas científicas indizadas en SciELO, WoS o Scopus, como registradas en DOAJ o Latindex	Artículos de idioma diferente al español e inglés
Periodo desde el año 2015 al 2021	
Artículos en idioma español e inglés	

La aplicación de estos criterios garantiza la calidad científica de la RSL al seleccionar información confiable, pertinente y actual. Benet Rodríguez et al. (2015) aseguran que, las revisiones sistemáticas deben ser selectivos en el proceso de inclusión y exclusión de documentos; pues analizar, comparar y discutir artículos primarios lleva a los investigadores, académicos y/o estudiantes a emitir juicios razonables que comprometen estar fundamentados en literatura científica justificable para brindar valor agregado al trabajo de revisión. Así, con una revisión inicial del título, resumen y palabras clave de los artículos filtrados, se seleccionó 128 documentos.

### **2.1.2. Organización de la información**

Se almacenó los artículos científicos en el gestor de referencias bibliográficas Mendeley, programa que facilita la gestión documental, la automatización de citas y referencias, y el trabajo en equipo de investigadores mediante la sincronización de artículos en red (Pinedo-Tuanama & Valles-Coral, 2021). Además, se organizó los documentos mediante subcarpetas y se aseguró que los metadatos cosechados por el gestor sean correctos para garantizar los criterios bibliográficos del artículo.

### **2.1.3. Análisis de la información**

Una vez organizado los artículos en el gestor bibliográfico, se elaboró una matriz de datos en Excel por: autor/es, revista científica, índice, año de publicación, título, tipo de investigación, país e idioma. Estos fueron analizados a partir de una lectura crítica sobre el documento, prestando mayor atención a los resultados y conclusiones, del cual fueron seleccionados 13.

## **3. Resultados de la revisión**

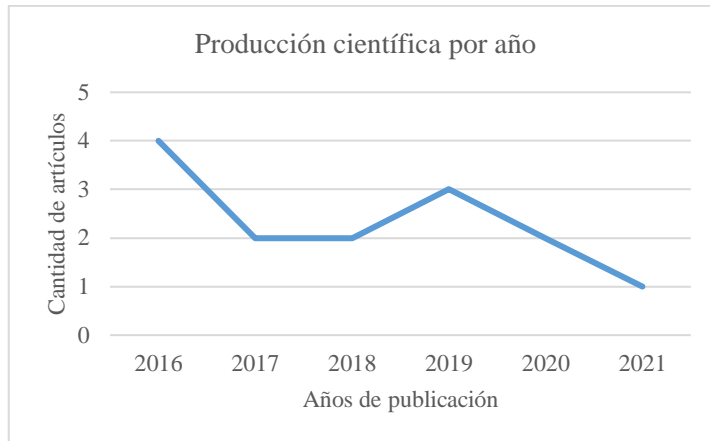
En el proceso de búsqueda de información, se compendió artículos basados en la selección, clasificación o caracterización de granos de café mediante técnicas de IA (sistemas expertos). Por otra parte, hubo gran porcentaje de trabajos académicos en español a nivel latinoamericano del tipo documental tesis, que tuvieron relación con los términos de búsqueda planteada; sin embargo, fueron excluidas según los criterios establecidos, por no acreditar calidad científica.

Asimismo, se identificaron artículos sobre aplicación de IA en detección de enfermedades en la hoja y grano de café (Kumar et al., 2020; Monsalve et al., 2015; Montalbo & Hernandez, 2020; Sosa et al., 2019; Torres Caballero & Reyes Duke, 2020), así como en el reconocimiento de calidad y grado de tostado (Hakim et al., 2020; Leme et al., 2019). Estas investigaciones fueron revisadas por ser pertinente al objeto de estudio, pero no se incorporaron al corpus de artículos seleccionados. Así, los resultados de la revisión son expuestos de acuerdo a las preguntas planteadas.

### **P1: ¿Cuál es la situación de la producción científica sobre sistemas expertos para la selección de granos de café a nivel mundial?**

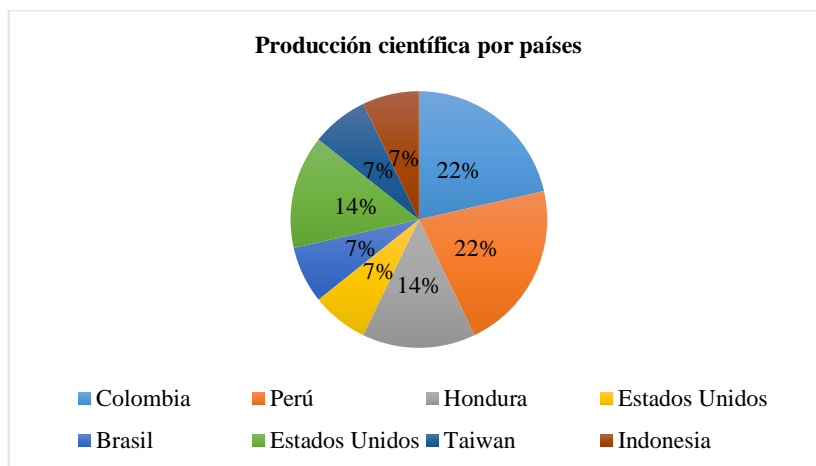
El 43% de los artículos seleccionados fueron en idioma español y artículos científicos, por otra parte, el 57% en inglés y conferencias. Esto muestra una distribución casi equitativa que evidencia que la divulgación científica sobre sistemas expertos para la selección de granos de café se comunica en diferentes formatos científicos.

En relación a la producción científica por año, la figura 1 muestra que la mayor cantidad de artículos publicados (cuatro) fue en el año 2016, luego se mantuvo una cantidad constante de 2 artículos por año (2017, 2018 y 2020), en el año 2019 se publicó 3 artículos y en el presente años solo se publicó uno.



**Figura 1.** Producción científica por años

La producción científica a nivel mundial sobre sistemas expertos para la selección de granos de café tiene mayor presencia en el continente americano según se evidencia en la figura 2. Los países como Colombia (22%), Perú (22%), Estados Unidos (14%) y Honduras (14%), son países que, según la literatura, exportan café a grande escala a nivel internacional, razón alguna que ha generado la atención de investigadores en mejorar la tecnificación de los procesos y con ello, divulgar los conocimientos y/o resultados obtenido en pro de la optimización de la productividad de granos de café de calidad.



**Figura 2.** Producción científica por países

## P2: ¿Cuál es la eficacia de los sistemas expertos en la selección de granos de café?

Para responder esta pregunta, se ha diseñado una matriz de información (tabla 4) que demuestre las técnicas empleadas por los sistemas expertos para la selección de granos de café y la eficacia que estas brindaron.

**Tabla 4.** Técnicas y eficacia de sistemas expertos en la selección de grano de café

Autor(es)	Título	Técnica o modelo aplicado
Herrera et al. (2016)	Diseño de un sistema automático de selección de frutos de café mediante técnicas de visión artificial	Se desarrollaron dos algoritmos, uno encargado de clasificar los frutos de café en maduros o no maduros, y otro que detecta la presencia de la plaga de la broca. Para el primero se extrajeron características de color y se usó un clasificador bayesiano (HSV). Por otra parte, el algoritmo de detección de brocas busca zonas negras en la imagen, esto debido a que la evidencia dejada por esta plaga son orificios en la superficie del fruto. Además, se diseñó un sistema mecánico para el transporte de los frutos de café durante el proceso, y un mecanismo de extracción para separar los frutos, una vez estos sean clasificados por el algoritmo.
		<p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> El algoritmo fue capaz de detectar los 33 frutos en mal estado de la muestra, la cual estaba compuesta de 58 frutos en total. Sin embargo, se clasificaron como frutos inadecuados 5 frutos de más, que en realidad se encontraban en buen estado. Los 20 frutos restantes fueron clasificados correctamente como buenos. Los resultados obtenidos mostraron una efectividad del 87%.
Herrera Pérez et al. (2016)	Clasificación de los frutos de café según su estado de maduración y detección de la broca mediante técnicas de procesamiento de imágenes	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> Se desarrollaron dos algoritmos de procesamiento de imágenes para la identificación del café idóneo para producción, uno de acuerdo al color de este (estado de maduración) y otro para detectar la plaga de la broca. El clasificador de color consta de varias etapas: una base de conocimiento que consta de un banco de imágenes de frutos de café maduro y verde, una etapa de pre-procesado para limpiar impurezas y filtrar ruido en la imagen; prosigue la segmentación para extraer el objeto de interés. Luego se extraen las características de color de la imagen y por último el proceso de reconocimiento e interpretación, el cual consta de una red neuronal artificial que clasifica los frutos en maduros o verdes.
		<p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> El clasificador por redes neuronales propuesto tuvo una efectividad de 97% al detectar los estados de madurez de los frutos de café, demostrando así que las técnicas de visión artificial para el control de calidad en los frutos de café son un método viable y poco invasivos.
de Oliveira et al. (2016)	A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> Se construyó un sistema de visión por computadora que arroje medidas CIE ( <i>Commission Internationale d'Eclairage</i> ) $L^* a^* b^*$ de granos de café verde y los clasifique según su color. Se utilizaron Redes Neuronales Artificiales (ANN) como modelo de transformación y se utilizó el clasificador de Bayes para clasificar los granos de café en cuatro grupos: blanquecino, verde caña, verde y verde azulado.
		<p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> Los modelos de redes neuronales lograron un error de generalización del 1,15% y el clasificador bayesiano pudo clasificar todas las muestras en sus clases esperadas (100% de precisión).
		<b>Técnica o modelo aplicado</b>

Portugal-Zambrano et al. (2016)	Computer vision grading system for physical quality evaluation of green coffee beans	<p>Se implementó de un sistema de control de calidad aplicado a la detección de defectos físicos de granos de café verde, combinamos un módulo de hardware y software. El hardware es utilizado para mantener condiciones de iluminación constante y homogéneas, también es utilizado para la adquisición de imágenes de café, para evitar el análisis manual realizado por el experto, el módulo de software utiliza una combinación de White-Patch como algoritmo de mejoramiento de imágenes e histogramas de color para su representación vectorial de características.</p> <p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> <p>El sistema obtuvo resultados al 98.8% de precisión, esto demuestra la efectividad de nuestro sistema para la asistencia al experto en el proceso de control de calidad de granos de café verde.</p>
Flores & Pineda (2016)	A type-2 fuzzy logic system approach to train Honduran coffee cuppers	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se utilizó un sistema experto de lógica difusa tipo 2 como herramienta para obtener el nivel de calidad de una taza de café hondureña con base en criterios subjetivos utilizados por catadores.</p> <p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> <p>El sistema se probó en más de 500 casos, de los cuales el 97% de los catadores estuvieron de acuerdo con los resultados del sistema experto.</p>
Soto et al. (2017)	Evaluación de la calidad del grano de cacao mediante el uso de un índice hiperespectral para determinar el estado de fermentación con un análisis no destructivo.	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se desarrolla una nueva alternativa al análisis hiperespectral no destructivo del proceso de fermentación del grano de cacao. El estudio se centra en los cambios químicos, medidos a lo largo de los ocho días de fermentación en las cajas de madera, y relacionándolos con un nuevo índice hiperespectral. El estudio compara varios granos buscando un nuevo índice, obteniendo, para cada índice, una variedad de curvas a lo largo de los ocho días de fermentación.</p> <p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> <p>El estudio concluyó en una nueva alternativa, denominada RNI (Red over NIR Index). El gráfico del valor medio del índice a lo largo del tiempo es el gráfico más significativo. Este artículo explica los procedimientos y resultados del estudio.</p>
Livio & Hodhod (2018)	AI Cupper: A Fuzzy Expert System for Sensorial Evaluation of Coffee Bean Attributes to Derive Quality Scoring	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se aplicó la lógica difusa a las puntuaciones de los atributos de los granos de café, para determinar el grado en que estas entradas pertenecen a cada uno de los conjuntos difusos apropiados. El proceso de unificación de las salidas toma las funciones de pertenencia de todas las reglas consecuentes previamente recortados o escalados y los combina en un solo conjunto difuso.</p> <p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> <p>Los resultados de las pruebas de AI Cupper son muy prometedores, ya que hubo un 95% de coincidencia respecto a la calificación de calidad, lo que significa que el 95% de todas las calificaciones coincide con los juicios de catadores humanos.</p>
		<b>Técnica o modelo aplicado</b>

Livio et al. (2018)	Smart Fuzzy Cupper: Employing approximate reasoning to derive coffee bean quality scoring from individual attributes	<p>Se utilizó el conocimiento de los expertos para aplicar aproximaciones razonamiento. Un sistema experto difuso que sirve para yendo más allá del alcance de solo capturar y trazar. Se desarrollaron datos de catación. Este sistema es multicapa. Aplicación de nivel empresarial que apunta al protocolo diseñado por el SCA y ayuda a averiguar si la calidad declarada por el representante de ventas de café coincide con lo que encuentran sus jueces.</p> <p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> <p>Hubo un 95% de coincidencia en toda la calidad del café calificado.</p>
Rosas-Echevarría et al. (2019)	Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se utilizaron los datos de las imágenes y se analizaron los colores en el espacio HSV, estos datos sirvieron para entrenar en la selección de granos de café por color, también se analizó la relación entre el ancho y largo de píxel con respecto a la medida real de la imagen para poder calcular el área. Para entrenar a la red se tomaron la media y desviación estándar de cada elemento del modelo HSV con respecto a cada color de grano (verde, rojo y marrón).</p> <p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> <p>La selección de granos de café con respecto al color y tamaño (área) no existe diferencia significativa en cuanto a resultados de selección, tanto si se trabaja manualmente o con visión artificial. Con respecto al tiempo de trabajo, si existe diferencia, ya que la selección manual llevo un periodo de 2 horas por un personal con experiencia, sin embargo, trabajando con visión artificial solo se requirió poco más de una hora. Con respecto a los costos, también resultan muy bajos en comparación con los ojos electrónicos, ya que los equipos son de bajo costo y el software es de código libre (OpenCV).</p>
Sánchez-Aguilar et al. (2019)	Toward the recognition of non-defective coffee beans by means of digital image processing	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se construyó un prototipo para capturar imágenes en condiciones de iluminación controladas. Luego se analizó las imágenes en los espacios de color HSV y YCbCr. Así se logró segmentar correctamente los granos del fondo, así como el defecto en el caso de granos inmaduros.</p> <p style="text-align: center;"><b>Eficacia</b></p> <p>El análisis de espacios de color mostro que el canal H del espacio HSV permite segmentar con gran facilidad los granos del fondo, bajo condiciones de iluminación controladas. Asimismo, el uso de un descriptor de color basado en umbralización como criterio de clasificación permite alcanzar una precisión del 85 %.</p>
Huang et al. (2019)	Real-Time Classification of Green Coffee Beans by Using a Convolutional Neural Network	<p style="text-align: center;"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se utilizaron imágenes en escala de grises para el entrenamiento. Por lo tanto, en el proceso de identificación, también se convirtió las imágenes en escala de grises para su identificación. Sin embargo, la escala de grises las imágenes son vulnerables a la luz ambiental porque solo se retiene la información unidimensional de la imagen. Para ajustar para la influencia del brillo, se corrigió las fuentes de luz del medio ambiente y ajustar los parámetros de la cámara a través de la API de Video4Linux antes del reconocimiento. Esto aseguraría que los parámetros de la imagen en el momento de la identificación durante el entrenamiento son los mismos y la identificación correcta se obtienen los resultados.</p>



		<p align="center"><b>Eficacia</b></p> <p>El modelo de CNN se utilizó para clasificar los frijoles buenos y los malos. La identificación general del grano de café fue de una precisión aproximada del 93.34% y el FPR fue de 0,1007. Al conectar el modelo de identificación de granos de café a una webcam, se pudo distinguir instantáneamente lo bueno y lo malo de los granos de café verde seleccionados por el ojo humano.</p>
Serrano Fuentes et al. (2020)	Coffee Fruit Recognition Using Artificial Vision and neural NETWORKS	<p align="center"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se desarrolló sistema que detecta y clasifica una fruta de café, lo que permite a los productores de café reducir costos, tiempos y aumentar la calidad del producto final. Utilizando una metodología con enfoque cualitativo y un diseño experimental, se diseñó un algoritmo para clasificar la fruta del café como "madura" o "no madura", mediante la conversión RGB a HSL. El algoritmo de aprendizaje profundo se entrenó con 196 imágenes, donde 108 fueron positivas y 88 negativas.</p>
		<p align="center"><b>Eficacia</b></p> <p>La implementación de redes neuronales para la clasificación de los frutos del café permite una alta precisión y rapidez. respuesta. La red neuronal tuvo un 97.6% de precisión en la clasificación de frutos aislados y de forma controlada luz ambiental.</p>
		<p align="center"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se desarrolló una aplicación móvil impulsada por un modelo basado en el aprendizaje profundo para clasificar automáticamente la calidad de los granos de café a través de la cámara de un teléfono móvil. El modelo de aprendizaje profundo utilizado se elige entre ResNet-152 y VGG16 en función de su rendimiento para clasificar la calidad de los granos de café.</p>
Janandi & Cenggoro (2020)	An Implementation of Convolutional Neural Network for Coffee Beans Quality Classification in a Mobile Information System	<p align="center"><b>Eficacia</b></p> <p>El resultado muestra que ResNet-152 podría alcanzar la mayor precisión del 73,3% y también podría integrarse en una aplicación móvil funcional.</p>
		<p align="center"><b>Técnica o modelo aplicado</b></p> <p>Se entrenaron redes neuronales convolucionales con imágenes de café molido capturadas con una cámara. Los algoritmos convolucionales se basan en el sistema convolucional ResNet34 previamente entrenado combinado con el aprendizaje de transferencia para reducir las imágenes requeridas, reduciendo así los costos de diseño de los modelos matemáticos finales.</p>
Pradana-López et al. (2021)	Deep transfer learning to verify quality and safety of ground coffee	<p align="center"><b>Eficacia</b></p> <p>Los modelos presentados fueron capaces de clasificar diferentes tipos de café molido, achicoria y cebada con errores inferiores al 1.0%. También fueron capaces de detectar adulteraciones comprendidas entre el 5,0% y el 0,5% en peso con errores inferiores al 1,4%.</p>

#### 4. Conclusiones

Los hallazgos demuestran un amplio panorama de técnicas o modelos que se aplican para la construcción de sistemas expertos para la selección de granos de café mediante inteligencia artificial, siendo de mayor prevalencia el procesamiento de imágenes a través de parámetros RGB (rojo, azul, verde) convertidos a HSV (tono, saturación, valor). Asimismo, se destaca los parámetros HSL (tono, saturación, luminosidad). Estas técnicas articuladas en los sistemas

expertos han brindado resultados favorables para la clasificación o categorización de los granos de café, mostrando ser efectivos y eficientes a más del 80% según los artículos analizados. Esto es un factor determinante para cubrir a las altas demandas de producción de café, ya que optimiza el tiempo de selección por los humanos y además tienen mínimos márgenes de errores que contribuyen a la productividad de postcosecha de café.

La revisión sistemática de la literatura conlleva a recomendar la realización de investigaciones que se enfoquen en analizar cuál es el nivel de utilidad o los factores que inciden en la utilización de los sistemas expertos por parte de los productores para la selección de grano de café y, sobre todo, analizar los costos que involucran adquirir las nuevas tecnologías agrícolas.

## Financiamiento

Ninguno.

## Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

## Contribución de autores

M-V, M: Definió y conceptualizó el tema a desarrollar, realizó el diseño metodológico, investigó; elaboró el primer borrador del artículo científico. Finalmente, revisó y editó el artículo.

## Referencias bibliográficas

- Benet Rodríguez, M., Zafra, S. L., & Quintero Ortega, S. P. (2015). La revisión sistemática de la literatura científica y la necesidad de visualizar los resultados de las investigaciones. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 7(1), 101-103. <https://doi.org/10.22335/rict.v7i1.232>
- Bonilla Medina, J. (2017). Los beneficios del consumo de café. *Revista Facultad Ciencias de la Salud. Universidad del Cauca*, 19(2), 47-48. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/rfcs/article/view/177>
- de Oliveira, E. M., Leme, D. S., Barbosa, B. H. G., Rodarte, M. P., & Pereira, R. G. F. A. (2016). A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. *Journal of Food Engineering*, 171, 22-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.009>
- Flores, W. C., & Pineda, G. M. (2016). A type-2 fuzzy logic system approach to train Honduran coffee cuppers. *2016 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/LA-CCI.2016.7885710>
- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., & Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 1558-163. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- Hakim, M., Djatna, T., & Yuliasih, I. (2020). Deep Learning for Roasting Coffee Bean Quality Assessment Using Computer Vision in Mobile Environment. *2020 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, 363-370. <https://doi.org/10.1109/ICACSIS51025.2020.9263224>
- Herrera, J. C., Medina, S. M., Beleño, K., & Gualdrón, O. E. (2016). Diseño de un sistema automático de selección de frutos de café mediante técnicas de visión artificial. *Revista UIS Ingenierías*, 15(1), 7-14. <https://doi.org/10.18273/revuin.v15n1-2016001>

- Herrera Pérez, J. C., Medina Ortiz, S. M., Martínez Llano, G. E., Beleño Sáenz, K. de J., & Berrio Pérez, J. S. (2016). Clasificación de los frutos de café según su estado de maduración y detección de la broca mediante técnicas de procesamiento de imágenes. *Prospectiva*, 14(1), 15. <https://doi.org/10.15665/rp.v14i1.640>
- Huang, N.-F., Chou, D.-L., & Lee, C.-A. (2019). Real-Time Classification of Green Coffee Beans by Using a Convolutional Neural Network. *2019 3rd International Conference on Imaging, Signal Processing and Communication (ICISPC)*, 107-111. <https://doi.org/10.1109/ICISPC.2019.8935644>
- Janandi, R., & Cenggoro, T. W. (2020). An Implementation of Convolutional Neural Network for Coffee Beans Quality Classification in a Mobile Information System. *2020 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, 218-222. <https://doi.org/10.1109/ICIMTech50083.2020.9211257>
- Julca-Otiniano, A., Alarcón-Águila, G., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., & Castro-Cepero, V. (2018). Comportamiento de tres cultivares de café (catimor, colombia y costa rica 95) en el valle de el Perené, Junín, Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(ahead), 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000504>
- Junta Nacional del Café. (2021, febrero). *Producción y exportaciones de café apuntan a ser mejores durante el 2021*. <https://juntadelcafe.org.pe/produccion-y-exportaciones-de-cafe-apuntan-a-ser-mejores-durante-el-2021/>
- Kumar, M., Gupta, P., Madhav, P., & Sachin. (2020). Disease Detection in Coffee Plants Using Convolutional Neural Network. *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 755-760. <https://doi.org/10.1109/ICCES48766.2020.9138000>
- Leme, D. S., da Silva, S. A., Barbosa, B. H. G., Borém, F. M., & Pereira, R. G. F. A. (2019). Recognition of coffee roasting degree using a computer vision system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 312-317. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.029>
- Livio, J., Flores, W. C., Hodhod, R., & Umphress, D. (2018). Smart Fuzzy Cupper: Employing approximate reasoning to derive coffee bean quality scoring from individual attributes. *2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491513>
- Livio, J., & Hodhod, R. (2018). AI Cupper: A Fuzzy Expert System for Sensorial Evaluation of Coffee Bean Attributes to Derive Quality Scoring. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(6), 3418-3427. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2832611>
- Lopes, A. C. A., Andrade, R. P., de Oliveira, L. C. C., Lima, L. M. Z., Santiago, W. D., de Resende, M. L. V., das Graças Cardoso, M., & Duarte, W. F. (2020). Production and characterization of a new distillate obtained from fermentation of wet processing coffee by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4481-4491. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04485-4>
- Monsalve, D., Trujillo, M., & Chaves, D. (2015). Automatic Classification of Nutritional Deficiencies in Coffee Plants. *6th Latin-American Conference on Networked and Electronic Media (LACNEM 2015)*. <https://doi.org/10.1049/ic.2015.0317>
- Montalbo, F. J. P., & Hernandez, A. A. (2020). An Optimized Classification Model for Coffea Liberica Disease using Deep Convolutional Neural Networks. *2020 16th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, 213-218. <https://doi.org/10.1109/CSPA48992.2020.9068683>

- Ocampo Lopez, O. L., & Alvarez-Herrera, L. M. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes CENES*, 36(64), 139-165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- Oscoco Medina, I., Roldan Ccoycca, E. P., Quispe Murga, E., Camacho Villalobos, A., Marmolejo G., D., & Marmolejo G., K. J. (2020). Selección, identificación y zonificación de café (*Coffea arabica* L.) por su adaptabilidad, rendimiento, calidad sensorial y resistencia a plagas y enfermedades. *Agroindustrial Science*, 10(3), 249-257. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.05>
- Pham, Y., Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. *Climatic Change*, 156(4), 609-630. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>
- Pinedo-Tuanama, Ll., & Valles-Coral, M. (2021). Importancia de los referenciadores bibliográficos en la gestión de la información científica en tesis universitarias. *Anales de Documentación*, 24(2). <https://doi.org/10.6018/analesdoc.465091>
- Portugal-Zambrano, C. E., Gutierrez-Caceres, J. C., Ramirez-Ticona, J., & Beltran-Castanon, C. A. (2016). Computer vision grading system for physical quality evaluation of green coffee beans. *2016 XLII Latin American Computing Conference (CLEI)*, 1-11. <https://doi.org/10.1109/CLEI.2016.7833383>
- Pradana-López, S., Pérez-Calabuig, A. M., Cancilla, J. C., Lozano, M. Á., Rodrigo, C., Mena, M. L., & Torrecilla, J. S. (2021). Deep transfer learning to verify quality and safety of ground coffee. *Food Control*, 122, 107801. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107801>
- Rosas-Echevarría, C., Solís-Bonifacio, H., & Cerna-Cueva, A. (2019). Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 347-351. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.04>
- Sanchez-Aguilar, A. F., Mario Ceballos-Arroyo, A., & Espinosa-Bedoya, A. (2019). Toward the recognition of non-defective coffee beans by means of digital image processing. *2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/STSIVA.2019.8730267>
- Sandoval Pillajo, A. L., Checa Cabrera, M. A., Díaz Vásquez, R. A., & Acosta Espinoza, J. L. (2021). Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades y plagas en plantas ornamentales. *Universidad y Sociedad*, 13(3), 505-511. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2127>
- Serrano Fuentes, M., Lizardo Zelaya, N. A., & Ordoñez Ávila, J. L. (2020). Coffee Fruit Recognition Using Artificial Vision and neural NETWORKS. *2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 224-228. <https://doi.org/10.1109/ICCRE49379.2020.9096441>
- Smith Dumont, E., Gassner, A., Agaba, G., Nansamba, R., & Sinclair, F. (2019). The utility of farmer ranking of tree attributes for selecting companion trees in coffee production systems. *Agroforestry Systems*, 93(4), 1469-1483. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0257-z>
- Sosa, J., Ramirez, J., Vives, L., & Kemper, G. (2019). An Algorithm For Detection of Nutritional Deficiencies from Digital Images of Coffee Leaves Based on Descriptors and Neural Networks. *2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/STSIVA.2019.8730286>
- Soto, J., Paiva, E., Ipanaque, W., Reyes, J., Espinoza, D., & Mendoza, D. (2017). Cocoa bean

quality assessment by using hyperspectral index for determining the state of fermentation with a non-destructive analysis. *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 1-5.  
<https://doi.org/10.1109/CHILECON.2017.8229718>

Torres Caballero, E. M., & Reyes Duke, A. M. (2020). Implementation of Artificial Neural Networks Using NVIDIA Digits and OpenCV for Coffee Rust Detection. *2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 246-251.  
<https://doi.org/10.1109/ICCRE49379.2020.9096435>

Vives Garnique, L. A., Mejía Cabrera, H. I., Vilcherrez Chavarry, K. L., & Vassallo Barco, M. J. (2014). Visión artificial: Aplicación de filtros y segmentación en imágenes de hojas de café. *Revista INGENIERÍA: Ciencia Tecnología e Innovación*, 1(2), 71-81.  
<http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/198>