

PROPUESTA JÓVENES INVESTIGADORES- 2018
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

1. Información General de la Propuesta

Título de la propuesta: Generación de descriptores para la detección del defecto de decolorado en el grano verde de café de la variedad castilla en Colombia.

Grupo de investigación: GIDIA – Grupo en Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial.

Firma del líder del grupo: _____

John Willian Branch Bedoya
C.C. 18509600

Línea de investigación a la cual aplica este proyecto: Visión Artificial.

Nombre del joven investigador: Alberto Mario Ceballos Arroyo, C.C. 1221966785.

Nombre del docente tutor: John Willian Branch Bedoya, C.C. 18509600, Investigador Senior.

Palabras claves: *Inspección visual automática, Café Verde, Descriptores, Defectos, Aprendizaje de máquina.*

2. Descripción del Problema

El café es uno de los productos de exportación y consumo interno más importantes para la economía colombiana. Entre octubre de 2016 y enero de 2017 se exportaron más de 5.1 millones de sacos de café (Federación Nacional de Cafeteros, 2017). El café colombiano se ha consolidado como uno de los de mayor reputación a nivel mundial. Por esto el control de su calidad es un punto clave en el que, por ser de índole visual, se invierten grandes cantidades de recursos y tiempo. El proceso de producción del café va desde el cultivo a la venta (Parque del café, 2000) y atraviesa varias etapas de control de calidad.

La primera ocurre durante la cosecha, cuando se recoge manualmente el grano de los cafetales. Los recolectores extraen los frutos de café (llamados cerezas) según su estado de madurez. Los granos de café tienen dos cáscaras, que se remueven durante el proceso de trillado. En este punto los expertos seleccionan y apartan los granos defectuosos del resto de la cosecha, ya que estos tienen un fuerte impacto en el sabor, la calidad y el precio del producto final en mercados internacionales. Una vez filtrados los granos, estos son tostados. En esta etapa se verifica la calidad del tostado, que precede al último paso: el molido de los granos y su empaquetamiento. Entre las fases de control de la calidad del café, la que más tiempo y capacidad humana requiere es la verificación de la calidad de los granos verdes. El motivo es la gran cantidad de granos de café que se clasifican a ojo, lo cual constituye un cuello de botella en épocas de cosecha que sólo ocurren una o dos veces al año (Fondo Nacional del Café, 2016). Igualmente, este modelo de verificación de calidad provoca fatiga en los trabajadores que lo realizan. Dicha fatiga incrementa la cantidad de errores cometidos, incluso cuando se trata de expertos.

Los sistemas de visión por computadora (VC) han automatizado las tareas de verificación de calidad en varios sectores de producción, incluyendo el agroindustrial (Atencio, Sánchez T, & Branch, 2009). En Colombia se han categorizado 14 defectos en los granos de café verde para exportación (Federación Nacional de Cafeteros, 2010b). Los defectos descritos por la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), así como los listados por organizaciones brasileñas y estadounidenses (Specialty Coffee Association, 2018), son de índole visual. Por ende, existe un potencial para soluciones basadas en VC. Sin embargo, en Colombia sólo se han propuesto mecanismos basados en VC para

separar frutos maduros de inmaduros (Calvini, Ulrici, & Amigo, 2015), y no se ha hecho suficiente trabajo sobre la identificación de defectos en los granos verdes.

Los sistemas de VC para clasificación y detección de defectos en productos agrícolas son diversos. Se pueden encontrar propuestas que involucran no solo luz natural (Atencio et al., 2009), sino visión por rayos x y visión tridimensional (Wang & Li, 2015). En cuanto a la determinación de la calidad de los granos de café verde, la mayoría de las propuestas se enfocan en categorizar los granos según atributos como la morfología, el color, la textura y las propiedades químicas, entre otros. Sin embargo, no todos los trabajos de la literatura se centran en la calidad del café verde: algunos se enfocan en la clasificación del tipo de café (Turi, Abebe, & Goro, 2013), mientras que otros miden la calidad del proceso de tostado (Virgen-Navarro et al., 2016).

En adición a la poca literatura enfocada en detección de defectos en granos verdes de café, se observa que sólo se logran porcentajes aceptables (*i.e.*, entre el 85 y 95%, según el defecto) de precisión para los defectos más fáciles de detectar —*e.g.*, la coloración negra y los huecos causados por insectos (Portugal-Zambrano et al., 2017)—. Además, no se contempla la detección de ciertos defectos, ya sea por falta de datos o por la dificultad que implica reconocerlos. Por esto, se propone un análisis de descriptores para la detección del defecto de decolorado mediante técnicas de VC e inteligencia artificial. Este análisis se realizará teniendo en cuenta no solo los aspectos abordados en la literatura para caracterización del grano verde de café, sino también propuestas para generar descriptores de otros productos del agro. Se espera así generar nuevos descriptores que ayuden a mejorar el desempeño para los casos que no son clasificados correctamente por las técnicas tradicionales.

3. Justificación

En las últimas dos décadas se han acentuado varias problemáticas en las zonas rurales del país a causa del conflicto armado, tales como, degradación ambiental, pobreza, aspectos sociales y falta de desarrollo. Recientemente, el gobierno colombiano se ha enfocado en consolidar el proceso de paz con apoyo de gobiernos extranjeros. En este sentido, una de las estrategias se concentra en fortalecer el desarrollo rural y facilitar la superación de los efectos del conflicto sobre la degradación del medio ambiente (Conpes, 2015). Un aspecto al cual puede aportar la academia es el de la innovación en procesos agroindustriales, ya que el agro en nuestro país, al igual que el resto de la industria agrícola en el mundo, posee baja tecnificación. Esto se debe al predominio del empirismo en la agricultura, que surge por fenómenos culturales y el conformismo de su funcionalidad (Byé & Fonte, 2014). Esto ha generado un crecimiento débil en las fuerzas productivas y económicas (Pérez Corredor & Cortés Niño, 2017). Por ello se recomienda un aumento de la tecnificación en el campo, para generar eficiencia en la producción agrícola (Byé & Fonte, 2014).

El café es uno de los principales productos de exportación en el país. Sin embargo, hoy en día no posee gran tecnificación en su proceso de producción. La calidad del producto depende en gran medida de la inspección visual llevada a cabo por personas. Como ha sido reportado ampliamente en diferentes investigaciones, esto genera variaciones en la calidad, sobre todo si está pensado para cafés especiales. Esto debido a factores que afectan a los humanos como la fatiga, la desconcentración, factores anímicos entre otros. Esta propuesta se direcciona a emplear VC para desarrollar soluciones que permitan innovar en los procesos de mejora de café.

4. Objetivos.

4.1. Objetivo General

Generar descriptores para la detección del defecto de decolorado en el grano de café verde de la variedad castilla en Colombia.

4.2. Objetivos Específicos

- Generar un banco de imágenes de granos verdes de café que posean el defecto de decolorado e imágenes de granos sanos y con otros defectos, bajo distintas condiciones de adquisición.

- Realizar un análisis de los tipos de descriptores aplicables a la extracción de características de granos de café verde de la variedad castilla.
- Desarrollar un prototipo de software para la extracción automática de descriptores a partir de imágenes del grano de café verde de la variedad castilla.
- Implementar con base en la literatura las técnicas de aprendizaje de máquina más adecuadas para la detección del defecto de decolorado en los granos de café, con base en los descriptores generados.
- Validar el impacto de los descriptores propuestos en la detección automática del defecto de decolorado en los granos verdes de café castilla en Colombia.


5. Antecedentes











(Sandoval & Prieto, 2016) y (Ramos, Sans, & Oliveros, 2014) clasifican los granos recolectados al momento de cosecharlos, como paso previo al proceso de despulpado y trillado. Luego del proceso de trillado, en (De Oliveira et al., 2016) se propone un sistema que categoriza los granos por color, en el que se contemplan los colores blanquecino, verde y verde azulado. En (Apaza et al., 2014) se hace uso de algoritmos basados en la teoría *retinex* del color para mejorar la imagen de los granos antes de su clasificación, según la presencia de 13 tipos diferentes de granos. En la cadena de producción de café también es importante distinguir la variedad de café que se procesa. Así, en (Calvini et al., 2015) se usan imágenes infrarrojas para distinguir entre las variedades de café arábica y robusta. Asimismo, es importante verificar el buen tostado de los granos. En (Nansen et al., 2016) se verifica en nivel de tostado, y en (Gabriel-Guzmán et al., 2017) se propone un sistema que realiza un seguimiento en tiempo real del proceso de tostado de los granos.




El proceso de selección de granos verdes buenos y defectuosos es de gran importancia, debido a que son los granos defectuosos los que tienen mayor incidencia en la calidad del producto final (Federacion Nacional de Cafeteros, 2010a). Se han publicado múltiples propuestas donde se intenta detectar los granos que poseen defectos. Por ejemplo, en (F Parikesit, 2011) se usan características de textura para clasificar los granos en seis clases. En (Condori et al., 2014) se propone el uso de una matriz de coocurrencias para la extracción de características. En (Portugal-Zambrano et al., 2016) y (Ramirez-Ticona, Gutierrez-Caceres, & Portugal-Zambrano, 2016) se propone un método de clasificación de granos defectuosos que consiste en usar cada nivel marcado por el histograma de cada canal RGB como una característica para una SVM (Support Vector Machine). En (Pinto et al., 2017) se intenta aproximar una solución al problema mediante redes neuronales convolucionales, mientras que en (Zhang, Liu, & He, 2018) se hace uso de descriptores de color, forma y textura para clasificar los granos de café verde mediante una red neuronal de tipo perceptrón multicapa.

La revisión de la literatura muestra que se ha trabajado en la detección y clasificación de algunos defectos, pero no se han realizado estudios sobre los descriptores de estos. En la Tabla 1 se muestra una comparación de los estudios realizados en la literatura. Esta comparación se centra en la precisión lograda por aquellos trabajos que contemplan defectos identificados en la taxonomía de defectos de la FNC (Federacion Nacional de Cafeteros, 2010b). Cabe anotar que el Comité Nacional de Cafeteros resuelve que la tolerancia de presencia de defectos para el café tipo exportación es de 72 granos defectuosos por cada 500 granos revisados (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). Además, no se puede exceder los 12 granos de los tipos negros vinagres, reposados amarillos o carmelitas y ámbar o mantequilla.

TABLA 1: COMPARACIÓN DE LA LITERATURA (Federacion Nacional de Cafeteros, 2010b)

Defecto	Descripción	Ejemplos	Precisión por trabajo
Negro total o parcial	-Grano con coloración del pardo al negro. -Encogido o -Arrugado. -Cara plana hundida. -Hendidura muy abierta.		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Pinto et al., 2017): 98.75%. (Ramirez-Ticona et al., 2016) 99% (Ruge, Pinzon, & Moreno, 2012) 99% (Condori et al., 2014): 87.02% (Portugal-Zambrano et al., 2017): 89.0%

Cardenillo	-Grano atacado por hongos, cubierto de polvillo amarillo o amarillo rojizo.		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Ramirez-Ticona et al., 2016) 99% (Portugal-Zambrano et al., 2017): 50.7% (Ruge et al., 2012) 99% (Condori et al., 2014): 96.97%
Vinagre o parcialmente vinagre	-Grano con coloración del color crema al carmelita oscuro. -Hendidura libre de tegumentos. -Película plateada puede tender a coloraciones pardo-rojizas.		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Condori et al., 2014): 81.38% (Ramirez-Ticona et al., 2016) 99% (Portugal-Zambrano et al., 2017): 65.6% (Pinto et al., 2017): 98.75%.
Cristalizado	-Grano de color gris azulado; frágil y quebradizo.		(Ruge et al., 2012) 99%
Decolorado o veteado	-Grano con vetas blancas.		(Ramirez-Ticona et al., 2016): 99% (Ruge et al., 2012): 99% (Pinto et al., 2017): 98.75%.
Decolorado o reposado	-Grano con alteraciones en su color normal, presenta colores que van desde el blanqueado, crema hasta el carmelita.		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Pinto et al., 2017): 98.75%. (Ruge et al., 2012) 99%
Decolorado o ámbar o mantequilla	-Grano de color amarillo traslúcido.		(Ruge et al., 2012) 99%
Decolorado o sobre secado	-Grano de color ámbar o ligeramente amarillento.		(Ruge et al., 2012) 99%
Mordido o cortado	-Grano con una herida o cortada y oxidado		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Pinto et al., 2017): 98.75%. (Ramirez-Ticona et al., 2016) 99% (Ruge et al., 2012) 99%
Picado por insectos	-Grano con pequeños orificios		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Condori et al., 2014) 64.40% (Ramirez-Ticona et al., 2016) 99% (Ruge et al., 2012) 99%
Averanado o arrugado	-Grano con estrías		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Condori et al., 2014): 29.93% (Ramirez-Ticona et al., 2016) 99% (Ruge et al., 2012) 99% (Portugal-Zambrano et al., 2017): 89.5%

Inmaduro y/o paloteado	-Grano de color verdoso o gris claro, de tamaño menor al normal y superficie marchita. -La cutícula no desprende. -En este grupo se incluye el grano del palteo.		(Apaza et al., 2014) : 79.15%. (Condori et al., 2014): 75.88% (Ramirez-Ticona et al., 2016) 99% (Ruge et al., 2012) 99% (C.E. Portugal-Zambrano et al., 2017): 77.1%
Aplastado	-Grano aplanado con fracturas parciales		(Ruge et al., 2012) 99%
Flojo	-Grano de color gris oscuro y blando		(Ruge et al., 2012) 99%
<i>Cursiva: Trabajos en los que se utilizan 100 o menos muestras.</i>			

Como se observa en la Tabla 1, hay trabajos que clasifican ciertos defectos con alta precisión. Sin embargo, se debe resaltar que algunos autores no realizan validación de sus métodos sobre cantidades considerables de granos (*i.e.*, trabajan con menos 100 muestras). Esto posiblemente dé cabida a problemas de sobreajuste en sus modelos (Abad, Superior, & Espol, 2016). A esto se suma el hecho de que algunos autores no realizan un estudio detallado de los descriptores más adecuados para detectar los defectos. Asimismo, hay propuestas en las que defectos específicos se omiten o se obtienen resultados pobres para los mismos. Finalmente, es de resaltar la poca reproducibilidad de los trabajos presentados, ya que no se explican en detalle todos los pasos para la consecución de los sistemas de clasificación y las condiciones de adquisición de las imágenes.

6. Metodología

El problema tratado en esta propuesta de investigación se subdivide en tres subproblemas: la adquisición de las imágenes para el conjunto de datos, la exploración y codificación de los descriptores visuales, y la implementación de las técnicas de aprendizaje de máquina para clasificar los granos de café con base en los descriptores. Así, la metodología propuesta se basa en el desarrollo de fases consecutivas enmarcadas en un modelo semi-secuencial. Se plantean en consecuencia cuatro fases para la consecución de los objetivos. Durante la Fase I se generará el banco de imágenes de granos de café verde. En la Fase II se llevará a cabo la exploración e implementación del software para extracción de descriptores. En la Fase III se implementarán los algoritmos de aprendizaje de máquinas para clasificar los granos de café. Finalmente, en la Fase IV se evaluarán los descriptores implementados. La Figura 1 muestra la metodología propuesta.

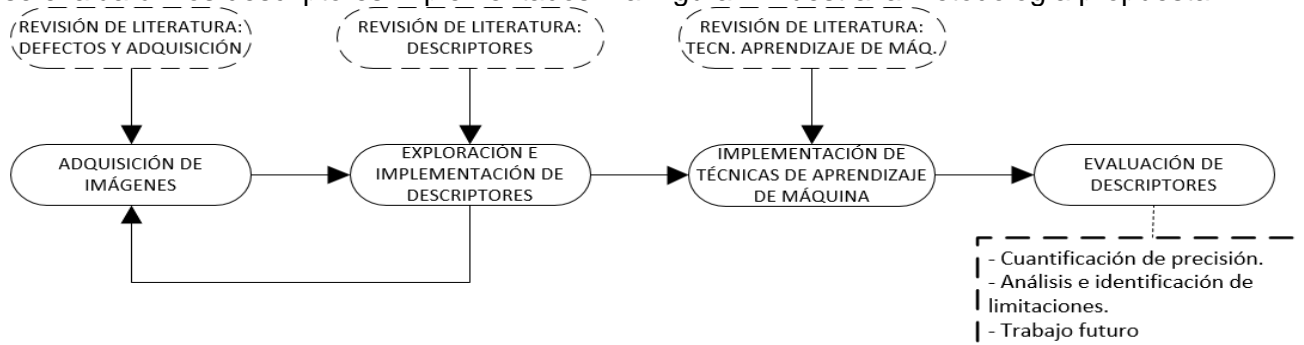


Figura 1. Esquema gráfico de la metodología propuesta.

Específicamente, cada fase estará enfocada en los siguientes aspectos:

FASE I - ADQUISICIÓN DE IMÁGENES: En esta fase se tomarán fotos de las muestras del grano de café verde para generar un banco de imágenes. Actualmente el grupo GIDIA dispone de

alrededor de 5.000 muestras de café verde tipo castilla sin clasificar. La clasificación de los granos de café se realizará con ayuda de expertos, y a continuación se tomarán las fotografías de estos en condiciones controladas. Ya que las condiciones de adquisición de la imagen tienen un impacto en la extracción de características, se realizará este proceso iterativamente aprovechando la retroalimentación obtenida de la Fase II.

FASE II - EXPLORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE DESCRIPTORES: Esta fase implica la realización de una exploración de los tipos de descriptores que pueden ser empleados para la discriminación del defecto de decolorado. Como se expuso en la sección de antecedentes, en la literatura se ha trabajado con descriptores morfológicos, de color y de textura. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de trabajar con otros tipos de descriptores, atendiendo a los avances recientes en aplicaciones de visión por computadora.

FASE III - IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE DE MÁQUINA: La Fase III consiste en la implementación de los algoritmos de aprendizaje de máquina adecuados para la clasificación de los granos de café verde, con base en los descriptores generados. Aunque en algunos casos se hace uso de técnicas tradicionales de aprendizaje de máquina, no se descarta la posibilidad de utilizar técnicas de aprendizaje de múltiples instancias (MIL), que resultan efectivas a la hora de trabajar con problemas donde las clases se encuentran desbalanceadas.

FASE IV - EVALUACIÓN DE DESCRIPTORES: La fase final comprenderá la ejecución de un diseño de experimentos para cuantificar la precisión de las técnicas de aprendizaje de máquina con cada tipo de descriptor evaluado. Asimismo, se espera describir las fortalezas y debilidades de cada descriptor, y establecer líneas para trabajo futuro. Particularmente, se espera sentar las bases para la construcción de un sistema automatizado que pueda ser utilizado en producción.

7. Contribución a las Líneas de Investigación del Grupo de Investigación

La implementación de algoritmos de visión por computadora para la Inspección Visual Automática ha sido uno de los enfoques del grupo de investigación GIDIA. Como antecedentes se encuentran proyectos relacionados con la aplicación de técnicas de inteligencia y visión artificial para inspección de defectos industriales y para la clasificación de mangos de distintas variedades (Atencio et al., 2009). Estos proyectos han consolidado al grupo en la escena de la industria y del agro, y han fortalecido los conocimientos prácticos y teóricos de los participantes. Se espera que con el presente proyecto se continúe el fortalecimiento de los vínculos del grupo con la industria agrícola. Asimismo, se tiene por meta apropiar conocimientos respecto a la implementación de técnicas de aprendizaje de máquinas y VC en problemas relevantes para la investigación en Colombia y el mundo.

8. Resultados Esperados

8.1. Resultados de Nuevo Conocimiento y/o Desarrollos Tecnológicos:

- La principal contribución esperada es la generación de un conjunto de descriptores para el defecto de decolorado.
- Se prevé crear un prototipo de software que integre los diferentes descriptores propuestos y las técnicas de aprendizaje de máquina para su clasificación.
- Se espera publicar un conjunto de datos de imágenes de granos de café verde variedad castilla, detallando las condiciones de adquisición.
- En cuanto a la generación de nuevo conocimiento, se espera escribir un artículo científico relacionado al proyecto. Esto con el fin de transmitir los resultados obtenidos.

8.2. Resultados de Formación:

- Se espera que la presente propuesta fortalezca las capacidades y actitudes investigativas del joven investigador.
- Se espera que entre las fortalezas específicas desarrolladas se encuentren la adquisición y procesamiento de imágenes, y la implementación de técnicas de aprendizaje de máquinas.

8.3. Resultados de Divulgación:

- Se tiene la intención de participar en por lo menos un congreso nacional o internacional, a fin de obtener retroalimentación de la comunidad académica.
- Se escribirá un informe técnico en el que se presentarán los resultados de las cuatro fases, incluyendo los experimentos realizados.

9. Productos

- Informe técnico compuesto por las 4 fases del proyecto y los resultados obtenidos en estas.
- Banco de imágenes de granos de café verde variedad castilla anotados por expertos, con sus respectivas condiciones de adquisición.
- Un artículo científico sometido a una revista indexada por Colciencias.

10. Cronograma de Actividades

Actividad/Mes	Trimestre 1			Trimestre 2			Trimestre 3			Trimestre 4		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Redacción del informe final.												
Revisión de literatura												
Adquisición y etiquetación de imágenes y generación del conjunto de datos.												
Exploración de descriptores para el grano de café.												
Implementación de los descriptores para el grano de café.												
Implementación de algoritmos de aprendizaje de máquinas.												
Pruebas, evaluación cuantitativa y selección de los mejores descriptores.												
Redacción del artículo para publicación.												

11. Bibliografía

- Abad, A. G., Superior, E., & Espol, L. (2016). Estadística Inferencial , Machine Learning , y Big Data, (October 2015).
- Apaza, R. G., Portugal-Zambrano, C. E., Gutiérrez-Cáceres, J. C., & Beltrán-Castañón, C. A. (2014). An approach for improve the recognition of defects in coffee beans using retinex algorithms. *Proceedings of the 2014 Latin American Computing Conference, CLEI 2014*.
- Atencio, P., Sánchez T, G., & Branch, J. W. (2009). Automatic visual model for classification and measurement of quality of fruit: Case mangifera indica L. *Modelo Visual Automatico Para La Clasificacion Y Medida de Calidad de Fruto: Caso Mangifera Indica L*, 76(160), 317–326.
- Byé, P., & Fonte, M. (2014). Hacia técnicas agrícolas de base científica. *Research Gate*.
- Calvini, R., Ulrici, A., & Amigo, J. M. (2015). Practical comparison of sparse methods for classification of Arabica and Robusta coffee species using near infrared hyperspectral imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 146, 503–511.
- Condori, R. H. M., Humari, J. H. C., Portugal-Zambrano, C. E., Gutiérrez-Cáceres, J. C., & Beltrán-Castañón, C. A. (2014). Automatic classification of physical defects in green coffee beans using CGLCM and SVM. *Proceedings of the 2014 Latin American Computing Conference, CLEI 2014*.
- Conpes, D. (2015). *Fondo Colombia En Paz*.
- De Oliveira, E. M., Leme, D. S., Barbosa, B. H. G., Rodarte, M. P., & Alvarenga Pereira, R. G. F. (2016). A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. *Journal of Food Engineering*, 171, 22–27.

- F Parikesit, G. O. (2011). Coffee Bean Grade Determination Based on Image Parameter. *Telkomnika*, 9(3), 547–554. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v9i3.747>
- Federacion Nacional de Cafeteros. (2010a). Clasificaciones de calidad. Retrieved May 29, 2018, from http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/clasificaciones_de_calidad/
- Federacion Nacional de Cafeteros. (2010b). Defectos de Café Verde. Retrieved May 29, 2018, from http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/regulacion_nacional/exportadores/2831_calidad_es_de_exportacion/
- Federacion Nacional de Cafeteros. (2017). Producción de café de Colombia aumenta 12% en enero. Retrieved May 29, 2018, from https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/produccion_de_cafe_de_colombia_aumenta_12_en_enero/
- Fondo Nacional del Café. (2016). Épocas recomendadas.
- Gabriel-Guzmán, M., Rivera, V. M., Cocotle-Ronzón, Y., García-Díaz, S., & Hernandez-Martinez, E. (2017). Fractality in coffee bean surface for roasting process. *Chaos, Solitons and Fractals*, 99, 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.03.056>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Resolución Número 01164 De 2002. *Alianzaconsultoria.Com*, 2002(2), 1–7. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Nansen, C., Singh, K., Mian, A., Allison, B. J., & Simmons, C. W. (2016). Using hyperspectral imaging to characterize consistency of coffee brands and their respective roasting classes. *Journal of Food Engineering*, 190, 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.06.010>
- Parque del café. (2000). Fases de Cultivo o Procesos del Café. Retrieved May 29, 2018, from <http://www.parquedelcafe.co/fases-de-cultivo-o-procesos-del-cafe/>
- Pérez Corredor, M. S., & Cortés Niño, A. H. (2017). *Efectos De La Política De Desarrollo Rural En La Economía Campesina En Colombia 2002-2014*.
- Pinto, C., Furukawa, J., Fukai, H., & Tamura, S. (2017). Classification of Green coffee bean images basec on defect types using convolutional neural network (CNN). *Proceedings - 2017 International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications, ICAICTA 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICAICTA.2017.8090980>
- 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)*, (October), 1–11.
- Portugal-Zambrano, C. E., Gutierrez-Caceres, J. C., Ramirez-Ticona, J., & Beltran-Castanon, C. A. (2017). Computer vision grading system for physical quality evaluation of green coffee beans. *Proceedings of the 2016 42nd Latin American Computing Conference, CLEI 2016*.
- Ramirez-Ticona, J., Gutierrez-Caceres, J. C., & Portugal-Zambrano, C. E. (2016). Cell-phone based model for the automatic classification of coffee beans defects using white patch. *2016 XLII Latin American Computing Conference (CLEI)*, (October), 1–6.
- Ramos, P., Sans, J., & Oliveros, C. (2014). Identificación y clasificación de frutos de café en tiempo real a través de la medición de color. *Revista Cenicafé*, 61(4), 315–326.
- Ruge, I., Pinzon, A., & Moreno, D. (2012). Sistema de selección electrónico de café excelso basado en el color mediante procesamiento de imágenes. *Revista Tecnura*, 16(34), 84–93. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2012.4.a06>
- Sandoval, Z., & Prieto, F. (2016). Procesamiento de imágenes para la clasificación de café cereza.
- Specialty Coffee Association. (2018). *Arabica Green Coffee Defect Handbook 2018* (3rd ed.). Retrieved from <https://store.sca.coffee/products/green-defect-handbook-print-version?variant=14266324038>
- Turi, B., Abebe, G., & Goro, G. (2013). Classification of Ethiopian Coffee Beans Using Imaging Techniques. *East African Journal of Sciences*, 7(1), 1–10.
- Virgen-Navarro, L., Herrera-López, E. J., Corona-González, R. I., Arriola-Guevara, E., & Guatemala-Morales, G. M. (2016). Neuro-fuzzy model based on digital images for the monitoring of coffee bean color during roasting in a spouted bed. *Expert Systems with Applications*, 54, 162–169.
- Wang, W., & Li, C. (2015). A multimodal machine vision system for quality inspection of onions. *Journal of Food Engineering*, 166, 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.027>
- Zhang, C., Liu, F., & He, Y. (2018). Identification of coffee bean varieties using hyperspectral imaging: Influence of preprocessing methods and pixel-wise spectra analysis. *Scientific Reports*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20270-y>