



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LOS DEFECTOS DE CALIDAD DE CAFÉ VARIEDAD  
ARÁBIGA (*Coffea arabica*) Y ROBUSTA (*Coffea canephora*) MEDIANTE  
VISIÓN ARTIFICIAL.

AUTOR

Steven Francisco Haro Urbano

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LOS DEFECTOS DE CALIDAD DE CAFÉ  
VARIEDAD ARÁBIGA (*Coffea arabica*) Y ROBUSTA (*Coffea  
canephora*) MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL.

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial y de  
Alimentos.

Profesora Guía  
PhD. Pablo Santiago Moncayo Moncayo

Autor  
Steven Francisco Haro Urbano

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

Declaro haber dirigido el trabajo, Evaluación de los defectos de calidad de café variedad arábica (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*) mediante visión artificial, a través de reuniones periódicas con el estudiante Steven Francisco Haro Urbano, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de Titulación.

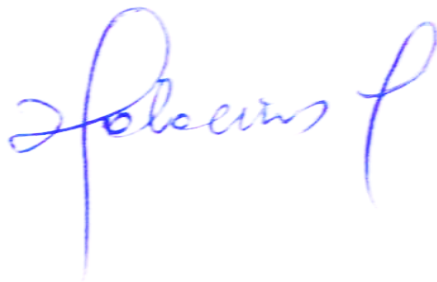
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Pablo Santiago Moncayo Moncayo', is written over a faint, light blue oval watermark. The signature is fluid and cursive.

---

Pablo Santiago Moncayo Moncayo  
Máster en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial  
CI: 1712367505

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber dirigido este trabajo, Evaluación de los defectos de calidad de café variedad arábica (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*) mediante visión artificial, a través de reuniones periódicas con el estudiante Steven Francisco Haro Urbano, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos

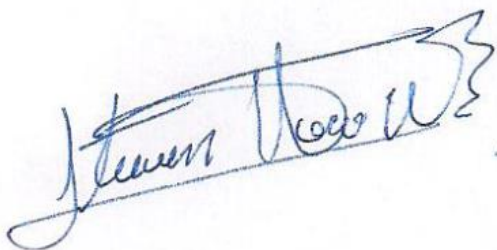
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Hector Palacios', is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

---

Héctor Abel Palacios Cabrera  
Doctor en Tecnología de Alimentos  
CI: 0912277480

## DECLARACIÓN DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y en que su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente

A handwritten signature in blue ink, written in a cursive style, reading "Steven Haro U". The signature is enclosed within a hand-drawn rectangular box.

---

Steven Francisco Haro Urbano

CI: 1722266382

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme estar en mis plenas facultades para forjar mi camino, a mis padres por su cariño y apoyo incondicional, a mis hermanos, al profesor guía y corrector y a los Ingenieros Omar Flor, José Ochoa, Patricia Garrido por la ayuda impartida a lo largo de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Todo el trabajo y esfuerzo impartido va dedicado principalmente a mis padres Lic. Wilson Haro y MSc. Nelly Urbano y como factor fundamental a mis tíos la Lic. Isabel Haro<sup>†</sup>, Dr. Efraín Haro, Dra. Lilian Haro.

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación se comprendió en el análisis de defectos de calidad de café variedad arábica (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*), mediante el sistema de visión artificial, para lo cual se implementó la herramienta aplicativa de lengua de programación MatLab, en la cual se analizaron un total de 80 imágenes con diferentes características.

Para la evaluación de las imágenes se creó un algoritmo el cuál genera datos exactos de lo que se requiere analizar, para lo cual en el caso de evaluación de defecto "grano negro" se midió el rango de tonalidad azul entre un grano sano y un defectuoso, el cuál obtuvo una efectividad aceptable, para el análisis de grano "broca" y "caracolilla" se generó un algoritmo que identifique contornos con diferentes tamaños, en este caso se encontró un margen de diferencia el cual se encontró muy cercano en la comparación, lo cual puede generar un margen de error en la discriminación de estos granos para lo cual se recomendó ampliar el número de muestras analizadas, finalmente se evaluó los granos "partidos" este algoritmo obtuvo completa confiabilidad al detectar la totalidad de granos con defecto.

Posteriormente se realizó la evaluación de crecimiento microbiano de granos con humedades de 11 y 15 %, para lo cual se utilizó la metodología de Gough para la estandarización de la humedad de los granos y la metodología de plaqueamiento directo para porcentualizar el crecimiento de los microorganismos, en este proceso se identificó que el crecimiento microbiano tiene relación directa con la humedad del grano, se encontró una alza de crecimiento de 10 % lo cual en producciones a mayor escala representa una pérdida considerable.

Finalmente se analizó el crecimiento de microorganismos en granos defectuosos el cual se potencializó en su gran mayoría, esto debido al desgaste que producen ciertos defectos en la estructura física del grano permitiendo la fácil incubación de microorganismos

**Palabras Clave:** Calidad, visión artificial, humedad.



## ABSTRACT

The present work of titration was included in the analysis of quality defects of Arabian variety coffee (*Coffea arabica*) and robusta (*Coffea canephora*), using the artificial vision system, for which the MatLab programming language application tool was implemented, in which a total of 80 images with different characteristics were analyzed.

For the evaluation of the images an algorithm was created which generates exact data of what is required to analyze, for which in the case of evaluation of black grain defect the range of blue hue between a healthy grain and a defective was measured, which obtained an acceptable effectiveness, for the analysis of grain broca and snail was generated an algorithm that identified contours with different sizes, in this case a margin of difference was found which was found very close in comparison, which can generate a margin of error in the discrimination of these grains for which it was recommended to expand the number of samples analyzed, finally we evaluated the broken grains this algorithm obtained complete reliability to detect the totality of grains with defect.

Subsequently, the microbial growth evaluation of grains with moisture of 11 % and 15 % was performed, for which the Gaugh methodology for the standardization of grain moisture and the direct platelet methodology for percentage growth of the micro-organism were used, In this process it was identified that the microbial growth is directly related to the moisture of the grain, an increase of 10% was found which in larger scale productions represents a considerable loss.

Finally, the growth of microorganisms in defective grains was analyzed, which was potentiated in the vast majority, due to the wear that produces certain defects in the physical structure of the grain allowing the easy incubation of microorganisms.

**Key Words:** Quality, artificial vision, humidity.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS .....	2
1.1.1. Objetivo General .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>2</b>
2.1. Marco Conceptual .....	2
2.2. Marco metodológico .....	16
2.2.1. Descripción del área de muestreo del material vegetal .....	16
2.2.2. Materiales reactivos y equipos .....	17
2.2.3. Caracterización de los granos de café .....	18
2.2.4. Sistema de visión artificial .....	19
2.2.5. Análisis de Defectos de calidad en granos de café .....	21
2.2.5.1. Análisis para el defecto tipo “Broca” .....	23
2.2.5.2. Análisis para el defecto tipo “Grano negro” .....	24
2.2.5.3. Análisis para el defecto tipo “Partido” .....	24
2.2.5.4. Análisis para el defecto tipo “Caracolilla” .....	25
2.2.6. Estandarización del material .....	25
2.2.6.1. Estandarización de los granos de café variedad arábica y robusta a diferentes rangos de humedad .....	25
2.2.7. Plaqueamiento directo.....	26
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
3.1. Resultados.....	26
3.1.1. Análisis de defecto “Grano Negro” variedad arábica y robusta mediante visión artificial.....	26

3.1.2. Análisis de defecto "Broca" variedad arábica y robusta mediante visión artificial.....	30
3.1.3. Análisis de defecto "Caracolilla" variedad arábica y robusta mediante visión artificial.....	34
3.1.4. Análisis de defecto "Grano Partido" variedad arábica y robusta mediante visión artificial.....	38
3.1.5. Estandarización de los granos de café variedad arábica y robusta a diferentes rangos de humedad.....	43
3.1.6. Plaqueamiento directo de granos de café variedad arábica y robusta	44
3.2. Discusión.....	46
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
4.1. Conclusiones.....	51
4.2. Recomendaciones.....	52
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de café posee una gran importancia económica en el Ecuador, ya que se presenta una extensión de cultivo de 199.215 hectáreas (Herrera, 2019), de la cual se percibe ingresos de 15,4 millones de dólares anuales por producción de café (Varela, 2012). Este cultivo se asienta en altitudes aproximadas de 900 a 2000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura ideal de 17 a 23 grados centígrados y con una precipitación aproximada de 1800 a 4000 milímetros por año (Sánchez, 2015). En el país se ha censado que el 67.17 % de los cultivos de café se encuentran en la región Costa, un 30.77 % en la región Sierra y un 6.77% en la región de la Amazónica (González, 2018)

El café variedad robusta (*Coffea canephora*) fue descubierto a finales del siglo XIX. Entre los años 1951 y 1986 se realizaron introducciones de germoplasma de café variedad robusta al Ecuador, proporcionadas por el centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Costa Rica (INIAP, 2014). Por medio de análisis de defectos de calidad en los granos de esta variedad encontramos (negros, vinagre, cardenillo, mordido, astillado, decolorado, cristalizado, brocado, deformado, inmaduro, aplastado), los que son analizados por equipos calibrados y formatos estandarizados (Puerta, 2008).

La variedad de café arábica (*Coffea arábica*) se cultiva en una altitud entre 1600 - 2800 metros sobre el nivel del mar, esta variedad de café es de porte pequeña, requiere un índice de precipitación de 1900 milímetros de lluvia por año y un rango de temperatura óptimo entre 18 y 22 °C (Prado, et. al.2015). Esta variedad gracias a su ubicación geográfica en el Ecuador se ha caracterizado como unos de los mejores producidos en la región de américa del sur y como resultado tiene una alta demanda en el Mercado Norteamericano y Europeo (INIAP, 2014). Al igual que la variedad robusta, para esta se detalla defectos físicos de calidad como el astillado, decolorado, deformado, aplanado. (Puerta, 2008). El Ecuador se encuentra entre los 70 países que utiliza producción mixta, es decir que produce dos variedades potencialmente comerciales como es la variedad arábica y robusta. (Delgado, et. al. 2002)

En la actualidad para identificar rápidamente estos defectos de calidad que presentan los granos y las plantas se ha implementado nuevas metodologías y herramientas. La visión artificial es una de estas, va de la mano con la inteligencia artificial donde ya no solo se determinan los parámetros de una imagen, sino que se puede caracterizarla por medio de un dispositivo electrónico y un programa. (Alvear, et. al.2016).

El sistema de visión artificial es una aplicativo que abarca las técnicas como la óptica y la informática, tiene como resultado la automatización de los procesos generando minimización de recursos (Europea, 2012). Consiste en la recopilación de imágenes mediante un lente óptico el cual tiene la capacidad de interpretar y analizar las características que posee el material de investigación (Europea, 2012).

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo General**

Evaluar los defectos de calidad de café arábica y robusta mediante visión artificial

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Identificar los defectos físicos de las variedades arábica y robusta mediante visión artificial

Determinar el porcentaje de infección fúngica de los granos con defectos de arábica y robusta en diferentes humedades

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco Conceptual**

Entre las teorías generadas sobre el origen del cultivo de café existe una base detallada que ubica su origen en el territorio africano por el siglo XV, en donde los esclavos africanos se convirtieron en los primeros consumidores y distribuidores de este alimento. Las políticas árabes sobre la transportación y

comercialización de semillas de este cultivo eran muy rigurosas debido a la gran participación de este cultivo en su mercado, sin embargo, en el año de 1616 los holandeses lograron adquirir y adaptar este cultivo en su territorio para posteriormente comercializarlo en su continente. (International Coffee Organization, 2012).

A finales del siglo XIX en África fue descubierta la variedad robusta (*Coffea canephora*) una de las principales variedades comerciales, la cual tiene un índice de propagación silvestre en las zonas de El Congo y Guinea. (INIAP, 2014)

Esta especie está comprendida por 100 diferentes variedades alrededor del mundo de las cuales el 99% de la producción comercial se compone de la variedad arábica y robusta. El café de la variedad arábica es considerado "café suave" y genera el 80 % del consumo mundial, son producidos en la zona húmeda de Colombia, Kenia y Tanzania. La especie de café robusta se produce la mayoría en territorios africanos, asiáticos y latinoamericanos. Brasil es considerado el país con mayor producción a nivel mundial de las dos variedades comerciales. (Puerta, 2008)

### Tabla 1

*Taxonomía de Coffea spp.*

<b>CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL CULTIVO DE CAFÉ</b>	
<b>TAXONOMÍA</b>	<b>NOMBRE</b>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub - división	Angiospermae
Clase	Magnoliata
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	Coffea
<b>Especies</b>	Arábica, canephora, liberica, etc.

Adaptado de (Alvarado & Rojas, 2007)

El cultivo de café como todo organismo vivo está comprendido por un ciclo de vida productiva que se puede caracterizar por fases. Este cultivo es considerado un arbusto perenne que tiene un tiempo de vida estimado entre 20 y 25 años, al culminar el primer año comienza su ciclo productivo que se manifiesta en las ramas principales del arbusto y alcanza su nivel máximo productivo entre los 6 y 8 años de edad, a partir del año 9 su productividad tiende a declinar. (CENICAFE, 2007).

La estructura aprovechada de este cultivo es el fruto denominada cerezo el cual posee una forma elipsoidal (drupa), esta característica se presenta en los frutos de cultivares comerciales. Su textura es lisa y predomina un brillo color rojizo, su estructura interior se constituye de una pulpa delgada. Su propagación se realiza de forma sexual, es decir se emplea la semilla generada de la autofecundación, esta metodología es la más implementada entre los productores de café, sin embargo, en los últimos años con la finalidad de generar sembríos uniformes y garantizar el origen de la planta se ha ido implementado la propagación asexual mediante el empleo de tejidos in vitro o por estacas, yemas e injertos. (Alvarado & Rojas, 2007)

## Tabla 2

*Diferenciación de las características de las variedades Coffea arábica y Coffea canephora.*

<b>Característica</b>	<b>Especie C. arábica</b>	<b>Especie C. robusta</b>
<b>Principales cultivares</b>	Typica, Borbón, Caturra	Robusta
<b>Contenido de cafeína (%)</b>	1 – 1.3 (débil)	2 – 3 (fuerte)
<b>Propiedades degustativas</b>	Buenas	Medianas
<b>pH del grano</b>	Neutro	Alto
<b>Altura de cultivo</b>	7 metros	22 metros
<b>Reproducción</b>	Autógama	Alógama

<b>Grano</b>	8 – 12 mm	5- 8 mm
<b>Color endospermo</b>	Verde oscuro	Amarrillo
<b>Hojas</b>	Oblongas, verdes oscuro brillante	Elípticas, verde oscuro
<b>Flores</b>	Inflorescencias, 4 a 12 flores por axila	Inflorescencias, 12 a 24 flores por axila.
<b>Fruto</b>	Rojizo vino (maduro)	Rojizo claro (maduro)

---

Adaptado de (Alvarado & Rojas,2007)

Para realizar sus procesos productivos requiere de ciertos factores extrínsecos al cultivo los cuales tienen una gran incidencia en las características finales que presentarán los frutos. Este organismo es de fotoperiodo corto, es decir que requiere por lo menos 13 horas de luz al día. La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo se encuentra entre 17 y 23 grados Celsius la cual se puede encontrar en territorios que estén a una altitud de 1000 y 2000 msnm. El componente hídrico es fundamental en su crecimiento, y requiere al menos 1200 mm. El manejo de todos los factores mencionados maximizará las posibilidades de alcanzar los picos de producción esperados. (IPNI, 2019)

Garantizar la calidad del cultivo se puede manejar con la aplicación de BPA's (buenas prácticas agrícolas), las cuales son un conjunto de normativas, recomendaciones y principios técnicos aplicables a toda la base de la cadena productiva de un producto, estas normativas permiten al productor diferenciarse de los demás competidores. Para el sector agronómico la aplicación de BPA's constituyen un desafío de oportunidad, para que sus productos agropecuarios puedan introducirse en el mercado con una exigencia de calidad. (Izquierdo & Rodríguez, 2006)

Este cultivo se introdujo en el Ecuador en el año de 1764 a través de un navegante irlandés llamado Thomas Nugent. Las semillas eran provenientes de la isla Martinica y se propagaron por toda la costa ecuatoriana siendo Manabí la primera provincia donde inició con la actividad de la producción cafetalera.



(MAGAP, 2013). Para el año de 1951 se introdujo en el Ecuador las primeras bases de germoplasma de la variedad robusta gracias a las interrelaciones con el centro de investigación agronómico de Costa Rica (CATIE). (INIAP.2014).

En el Ecuador se registra un promedio de 199.615 hectáreas cultivadas de café, de las cuales el 68 % es de la variedad arábica (*Coffea arábica*) y el 38 % de variedad robusta (*Coffea canephora*), estas dos variedades son las más comerciales a nivel mundial y nacional, en el territorio ecuatoriano se encuentran distribuidas en 23 de las 24 provincias existentes actualmente, donde la variedad arábica predomina en provincias como Manabí, Loja y el corredor interandino y la variedad robusta se ubica principalmente en la región amazónica. (Santiestevan, Julca, Borjas & Tuesta, 2014).

**Tabla 3**

*Superficie cafetalera en el Ecuador*

<b>Provincias</b>	<b>Café Arábigo (ha)</b>	<b>Café Robusta (ha)</b>	<b>% Total (ha)</b>
<b>Esmeraldas</b>	1.800	6.345	3,8
<b>Manabí</b>	70.050	0	32,9
<b>Santa Elena</b>	1.800	0	0,8
<b>Guayas</b>	11.195	425	5,5
<b>Los Ríos</b>	4.770	6.610	5,3
<b>El Oro</b>	9.730	0	4,6
<b>Carchi</b>	195	0	0,1
<b>Imbabura</b>	300	0	0,1
<b>Pichincha</b>	1.300	1.300	1,2
<b>Santo Domingo</b>	0	5.300	2,5
<b>Cotopaxi</b>	2.000	1.600	1,7
<b>Tungurahua</b>	0	0	0
<b>Bolívar</b>	3.410	3.780	3,4
<b>Chimborazo</b>	880	0	0,4
<b>Cañar</b>	370	0	0,2
<b>Azuay</b>	420	0	0,2

<b>Loja</b>	29.345	0	13,8
<b>Sucumbíos</b>	0	17.320	8,1
<b>Orellana</b>	0	20.000	9,4
<b>Napo</b>	120	4.800	2,3
<b>Pastaza</b>	150	0	0,1
<b>Morona Santiago</b>	290	120	0,2
<b>Zamora</b>	6.350	0	3,0
<b>Chinchiipe</b>	1.100	0	0,5
<b>Galápagos</b>			
<b>TOTAL</b>	145.575	67.600	100

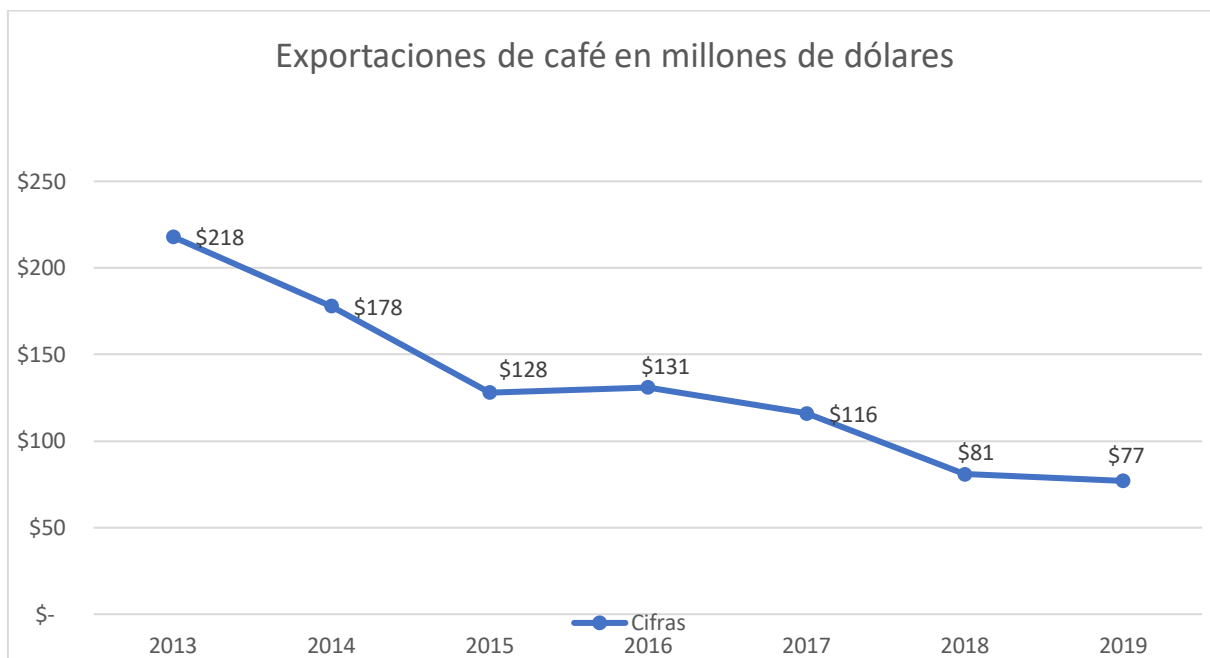
Adaptado de (CONEFAC, 2010; Cumbicus & Jiménez, 2012)

La innovación e implementación de tecnología que se ha generado en el sector productivo ha permitido potencializar la productividad de café variedad arábica en un 3 Tm/ha y a 5 Tm/ha de variedad robusta en zonas productoras de alto rendimiento. (Ponce et al., 2018)

En el país representa un alto índice de inyección de divisas, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) en el año de 2015 se registró un ingreso de 145.354.370,31 dólares los cuales fueron repartidos entre los productores y miembros de la cadena productiva. En el ámbito social la producción cafetera involucra a varias comunidades étnicas propias del territorio ecuatoriano como los Tsáchilas, Kichwas y Shuaras. Actualmente la preservación de los recursos naturales y la biodiversidad tienen una gran importancia en el sector productivo es por ello que las plantaciones de café ecuatorianas se rigen a sistemas agroforestales con la finalidad que no generen un impacto negativo al ecosistema. (Venegas, Orellana & Pérez, 2018).

Como se puede observar en la figura 1 en los últimos años la línea de negocio cafetero se ha visto afectado significativamente por la caída del precio del quintal de café en la bolsa de valores, lo que generó una baja en la producción nacional, para el año 2019 el valor de ingresos por exportación de café en el Ecuador es de 77.781.062 millones de dólares a relación de años anteriores se puede observar un declive considerable. (ANECAFE, 2020).

La producción de café del Ecuador tiene como destino principal Colombia al cual se destina el 73.13 % de las exportaciones totales, consecutivamente a Estados Unidos 17.75% y Alemania el 7.68 %, el restante de producción se exporta a países como: España, Francia, Cuba, Japón, Ucrania, República Checa, Corea, Chile, Bélgica, Dinamarca y Taiwán. A los cuales se destina la variedad arábica y robusta. (Cámara de Comercio de Guayaquil, 2012).



*Figura 1.-* Cifras en dólares de exportaciones de café (ANECAFE, 2020)

Para el manejo del cultivo es necesario realizar importaciones de materiales e insumos, entre los principales proveedores de insumos agropecuarios se encuentran Estados Unidos, Colombia, España y Brasil. (Cámara de Comercio de Guayaquil, 2012).

Usualmente la calidad de un producto alimenticio está dada por su valor nutricional y las propiedades organolépticas que presenta, sin embargo, para evaluar la calidad del café las características sensoriales tienen una mayor relevancia que su valor nutritivo. Entre las características principales que se evalúa la calidad física del grano se encuentra la humedad, tamaño, color, olor, presencia de materiales extraños. (Fajardo & Sanz, 2003)

Para los productores de producto terminado evaluar la calidad un saco de café tiene gran relevancia para mantener los estándares de calidad en la selección de materia prima, en donde existen algunos parámetros importantes, los cuales se basan en la calidad física del grano y la calidad sensorial del producto terminado. EL grano de café debe encontrarse en un rango de humedad de 10 a 12 % una vez pasado por el proceso de secado. Para ser considerado un saco de buena calidad debe tener un 75 % de grano sano. (Arcila et al., 2007).

Consecutivamente de la selección del grano viene el proceso de beneficiado, el cual permite conservar o degradar las propiedades organolépticas que se generará en el producto terminado. En el sector cafetero se realizan dos tipos de beneficiado el seco y húmedo. (Fajardo & Sanz, 2003)

**Tabla 4**

*Defectos de granos de café de acuerdo a la etapa del proceso.*

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Número de Defecto *</b>
<b>Cultivo:</b> Contaminación química o microbiana	20
Enfermedades o plagas	1, 3, 8
Deficiencias nutricionales de la planta	1, 5, 10, 16
<b>Recolección</b>	1, 3, 7, 11, 12, 15, 21
<b>Despulpado</b>	3, 7, 12
<b>Fermentación</b>	1, 2, 3, 6, 19
<b>Lavado</b>	3, 6, 20
<b>Secado</b>	1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 14, 19, 20
<b>Almacenamiento</b>	2, 3, 5, 13, 18, 19, 20
<b>Trilla</b>	9, 12, 17

\*1 negro o parcialmente negro, 2 Cardenillo, 3 Vinagre, 4 Cristalizado, 5 Decolorado, 6 Manchado, 7 Mordido o cortado, 8 Picado por insectos, 9 Partido, 10 Deformado, 11 Inmadura,




12 Aplastado, 13 Flotador o balsudo, 14 Flojo, 15 Negro balsudo, 16 Vano, 17 Astillado, 18 Reposo, 19 Sucio, 20 Sabor fenológico, 21 Materias extrañas

Adaptado de (Fajardo & Sanz, 2003)

El proceso de trilla consiste en la separación del tejido externo del grano, después de esta etapa se puede evidenciar claramente la presencia de granos con defectos los cuales deben ser seleccionados y descartados por medio de un análisis físico, posteriormente de este proceso se obtiene la almendra que es considerado el grano que cumple con los requerimientos necesarios para exportación. (Salas, Barrios & Girón, 2018)

**Tabla 5**

*Principales defectos de calidad en granos de café*

Nombre del defecto	Efecto de calidad	Causas	Descripción Física
<b>Grano negro o negro parcial</b>	Sabor fermentado, ácido, terroso.	Pigmento fermentado asociado a microorganismos	
<b>Grano agrio o agrio parcial</b>	Sabor agrio o fermentados	Fermentación por microorganismos durante la cosecha o procesado.	
<b>Daño por hongos o Cardenillo</b>	Sabores fermentados, rancios, mohosos.	Procedentes del género <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> o <i>Fusarium</i> .	

<b>Cereza Seca</b>	Sabores fermentados, mohosos, fenólicos.	Proceso de despulpado insuficiente. Descascarillado y selección inadecuados.	
<b>Daños por plagas (insectos)</b>	Apariencia del grano.	Principalmente plagas de Broca.	
<b>Partido, mordido o cortado</b>	Apariencia del grano	Generalmente se generan el proceso de despulpado.	
<b>Concha</b>	Una tostación no homogénea.	Genética del grano	
<b>Grano inmaduro</b>	Apariencia del grano.	Cosecha incorrecta de las cerezas.	
<b>Grano Averanado</b>	Sabor herbal, color verde.	Principalmente por falta de agua.	
<b>Flotador</b>	Apariencia del grano verde	Almacenamiento o secado inapropiados	

**Pergamino** Indica una baja calidad En la molienda seca, por mala calibración del equipo











Adaptado de (Specialty Coffee Association, 2019)

Una de las principales referencias que tiene el comprador de café al granel es el color del café, el cual va de tonalidades desde un café verde – azul hasta una tonalidad más opaca o pardusca dependiendo del origen o edad del cultivo. Como se puede evidenciar en la tabla 5 existe una gama de colores las cuales van a diferenciar un grano de buena calidad a uno de baja calidad. (SCA, 2019)

**Tabla 6**

*Gama de colores de café verde*

Verde – azul	Verde azulado	Café	Verdoso
			
Verde amarillento	Amarillo pálido	Amarillento	Pardusco
			

Adaptado de (SCA, 2019)

Como se puede visualizar en la tabla 7 los costos de producción en Ecuador son altos, donde se percibe más costos en el área de mano de obra y cosecha,

actualmente el costo estimado de producción por libra de café es de 1,91 dólares, si se analiza desde el punto de vista del precio en el mercado internacional de 1,17 dólares el productor estaría teniendo una pérdida del 38,7 %, es por ello que es importante implementar herramientas tecnológicas que genere una rentabilidad a esta línea de negocio. (Perfect Daily Grind, 2018)

**Tabla 7**

*Costos de producción de café*

	<b>Costos por 3 ha en USD \$</b>	<b>Porcentaje de costos</b>	<b>Costos USD / lb</b>
<b>Administración</b>	7.318	37 %	0,70
<b>Cosecha (mano de obra)</b>	6.750	34 %	0,65
<b>Mano de obra</b>	1.683	8 %	0,16
<b>Suministros</b>	3.306	17 %	0,32
<b>Infraestructura</b>	668	3 %	0,06
<b>Renovación</b>	188	1 %	0,02
<b>TOTAL</b>	19.913	100 %	1,91

Adaptado de (Perfect Daily Grind, 2018)

La selección de los granos con defectos de calidad actualmente se realiza de manera manual, lo cual genera un alto rango de subjetividad y error, puesto que este proceso puede ser afectado por factores de cansancio, experiencia y limitantes sensoriales, el proceso tiende a tener retrasos y maximiza los tiempos en la cadena productiva. En la agroindustria se ha optado por utilizar herramientas tecnológicas que permitan automatizar el proceso, actualmente se utiliza los "ojos electrónicos", sin embargo, esta herramienta tiene un costo



elevado mismo que hace inaccesible para los pequeños y medianos productores de café. La herramienta de visión artificial se ha convertido en uno de las herramientas utilizadas por los productores. (Rosas, Solís & Cerna, 2019).

El sistema de visión artificial se define como una aplicación industrial y no industrial en donde se combinan un hardware y software los cuales brindan una guía operativa mediante la recolección y procesamiento de imágenes. Esta aplicación tecnológica utiliza algoritmos y enfoques académicas y gubernamentales, brinda robustez, fiabilidad y estabilidad en el proceso productivo a bajos costos. Este sistema utiliza sensores digitales protegidos los cuales se encuentran en el lente de una cámara de uso industrial, es decir con ópticas especializadas que le permitan adquirir imágenes de alta calidad, mismas que son analizadas y evaluadas por el sistema de software y hardware. (COGNEX, 2016).

### **Tabla 8**

*Objetivos estratégicos que permite alcanzar la visión artificial*

<b>Objetivos estratégicos</b>	<b>Aplicaciones de visión artificial</b>
<b>Maximizar calidad</b>	Inspección, calibración y medición
<b>Maximizar productividad</b>	Tareas manuales que se vuelven repetitivas.
<b>Producción flexible</b>	Medición y calibración
<b>Minimizar los tiempos de inactividad por tiempos de configuración</b>	Programa cambios
<b>Control de procesos estrictos y mayor cantidad de información</b>	Las tareas manuales pueden entregar solo retroalimentación por el operario.

**Minimizar costos**

Aplicación de herramienta tecnológica vs la implementación de varios operarios.

**Minimizar la producción de desechos**

Inspección y medición

**Manejo de inventarios**

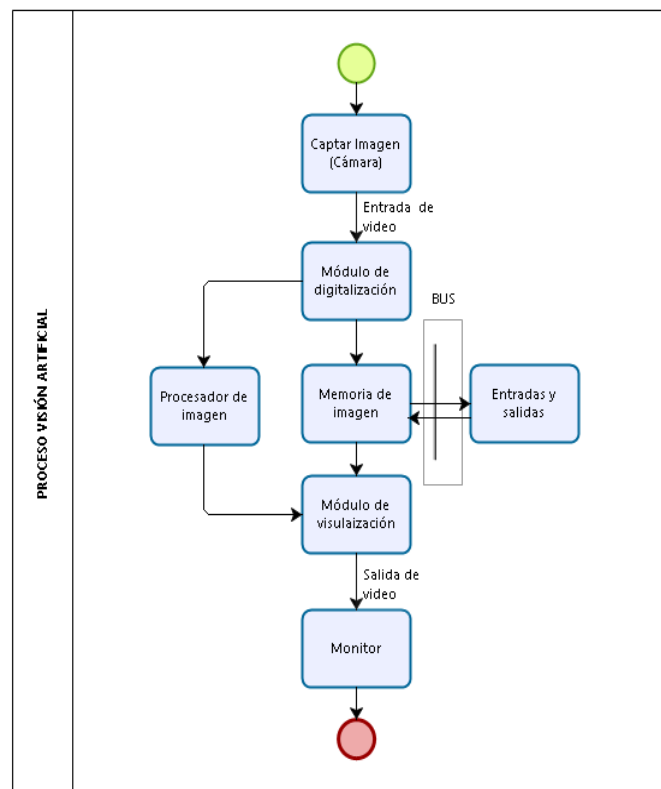
Recopilación y reconocimiento óptico de caracteres

**Minimizar espacios**

Herramienta de visión vs operarios

Adaptado de (COGNEX, 2016)

El proceso de captación y recopilación de imágenes es corto y sencillo, primero capta una imagen de un objeto real, posteriormente lo convierte en un formato digital, procesa la imagen mediante un ordenador y finalmente obtiene resultados finales. Como se puede observar en la figura 2 el proceso pasa por diferentes etapas las cuales tienen una operación y trabajo específico. (Unión Europea & Gobierno de España, 2012)



*Figura 2.-* Proceso de captación y recopilación de imágenes por visión artificial (Unión Europea & Gobierno de España, 2012)

En el módulo de digitalización busca convertir la señal análoga receptada por lente óptico o cámara para posteriormente procesarla. La memoria de imagen cumple la función de almacenar la señal que proporciona el módulo digitalizador. En el módulo de visualización convierte la señal gráfica almacenada en la memoria en señal de video analógica para ser observada en el monitor. Finalmente, el módulo de entradas y salidas sincroniza la captación de las imágenes reales y el resultado final en dispositivos externos, los cuales son visualizados y evaluados para la selección exacta de cultivos que cumplan con los requerimientos de calidad. (Unión Europea & Gobierno de España, 2012)

Para el manejo de la aplicación de visión artificial se requiere herramientas para que las imágenes puedan ser analizadas, entre las más importantes se encuentra el MatLab el cual es un software matemático con su propio lenguaje3 de programación y con un entorno de desarrollo integrado. Esta herramienta puede ser utilizada en plataformas como Windows y Macs. Este sistema está integrado por algunas herramientas internas como es el Toolbox el cual se diferencia dependiendo del trabajo que se requiere realizar. Para el procesamiento y análisis de imágenes y desarrollo de algoritmos se utiliza el Image Processing Toolbox, mientras que para la interpretación, detección y clasificación por imágenes y videos de escenas del mundo real se utiliza el Computer Vision System Toolbox. (García & Caranqui, 2015).

## **2.2. Marco metodológico**

### **2.2.1. Descripción del área de muestreo del material vegetal**

El presente trabajo de titulación se enfocó en muestras previstas de una hacienda ubicada en el noroccidente de quito específicamente en la parroquia de Nanegalito.

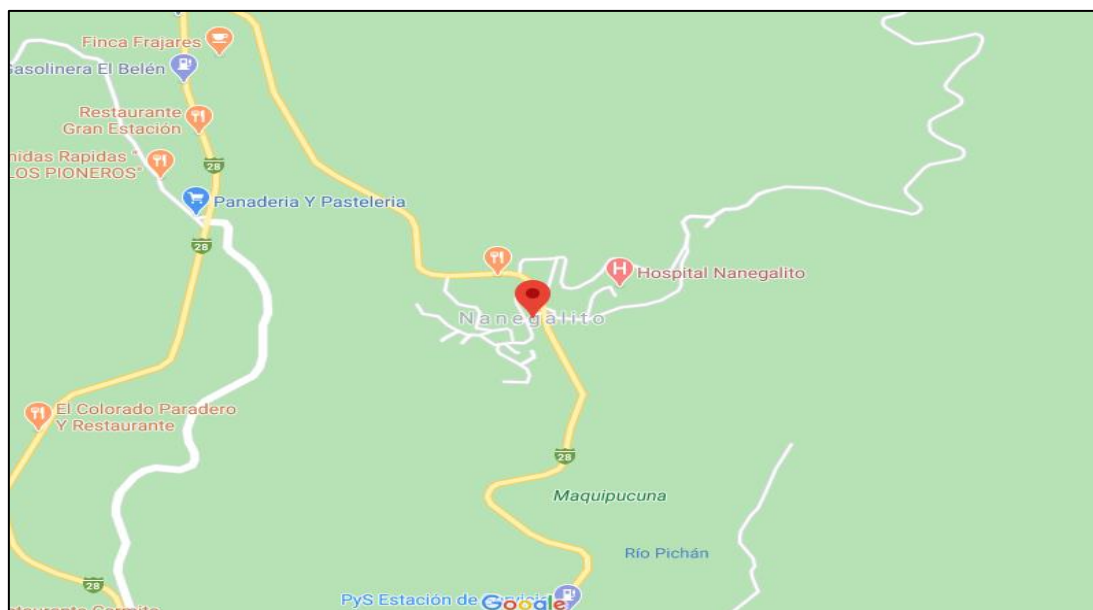


Figura 3.- Ubicación geográfica de la parroquia de Nanegalito (Google Maps, 2020)

### 2.2.2. Materiales reactivos y equipos

La experimentación de laboratorio se realizó en IDgen localizado al norte de la ciudad de Quito en la Av, de los Granos E14-285 y Eloy Alfaro, misma que cuenta con el equipo y los materiales necesarios para realizar las pruebas experimentales.

**Tabla 9**

*Materiales y reactivos*

MATERIALES	REACTIVOS	EQUIPO
1.- Cajas Petri	1.-Agar dicloran glicerol al 18 %	1.- Lentes ópticos
2.- Pinzas	2.- Hipoclorito de sodio al 0.4 %	2.- Horno

3.- Pipeta

3.- Agua destilada

3.- Cámara de flujo laminar

4.- Cámara de incubación

5.- MatLab

### 2.2.3. Caracterización de los granos de café

Para la caracterización de los granos de café se tomó en cuenta las tres principales características físicas que son analizadas para comprobar la calidad del grano como es el tamaño, color y forma.

**Tabla 10**

*Características a ser evaluadas*

<b>Métodos tradicionales</b>	<b>Métodos Alternativos</b>	<b>Descripción método alternativo</b>
<b>Color</b>	Se valora parámetros por medio de canales de color y cada uno de sus componentes.	La técnica de visión artificial tiene el objetivo de evaluar y caracterizar los componentes colorímetros que presenta el grano según su estado físico - químico
<b>Forma</b>	Evaluar e identificar las características de las características geométricas que presenta el grano	Determinar las características geométricas del grano por medio del análisis de imágenes con la finalidad de identificar el tipo de grano

<b>Tamaño</b>	Caracterizar los rangos de dimensión que tiene el grano.	Valorar las características dimensionales que tiene el grano tales como: largo, ancho y altura, con la finalidad de poder caracterizar la especie
---------------	--	---

---

Adaptado de (Monsó & Bustio, 1997)

#### 2.2.4. Sistema de visión artificial

Para la aplicación de sistema artificial se utilizó un programa matemático denominado Matlab, como se puede evidenciar en la figura 4 el programa descifra cada uno de los pixeles con la finalidad de reconocer aquellos márgenes de colores o estructuras que se definen como patrones. Consecutivamente al obtener las cifras de colores nos permiten ubicar la tonalidad de la muestra en plano tridimensional como se puede observar en la figura 5, mediante un sistema de color L a b el cual es el más utilizado en el campo agroindustrial se puede dar un valor exacto y la diferenciación entre los otros elementos de las muestras

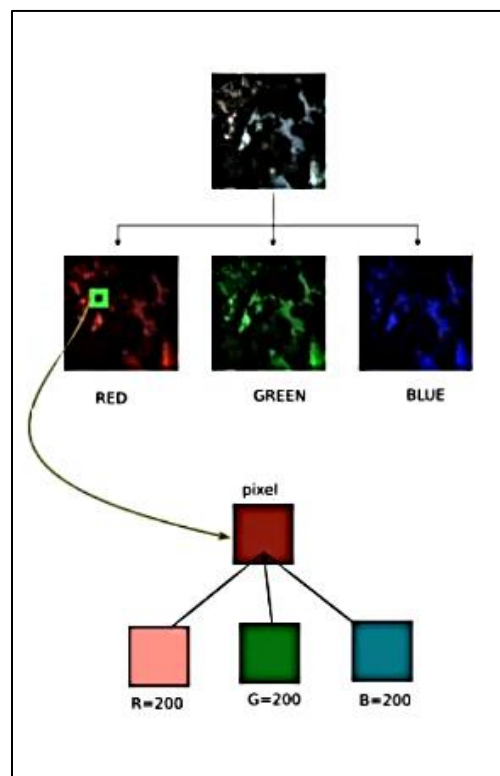


Figura 4.- Proceso de reconocimiento de pixel

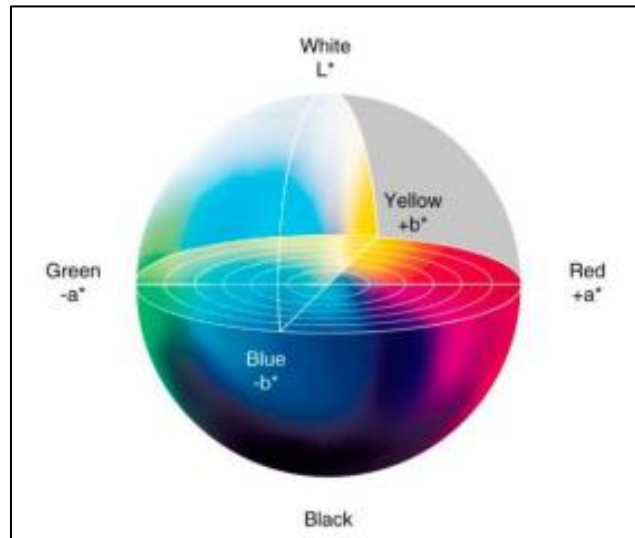


Figura 5.- Sistema de color L a b (García, 2016)

Para el reconocimiento de tamaño los granos de café igualmente se utilizaron el aplicativo de Matlab, en esta característica se utiliza la herramienta de la caja contenedora la cual nos discriminará entre elementos que contengan el tamaño adecuado y las que se encuentren por debajo o por encima de los límites como se puede observar en la figura 6.

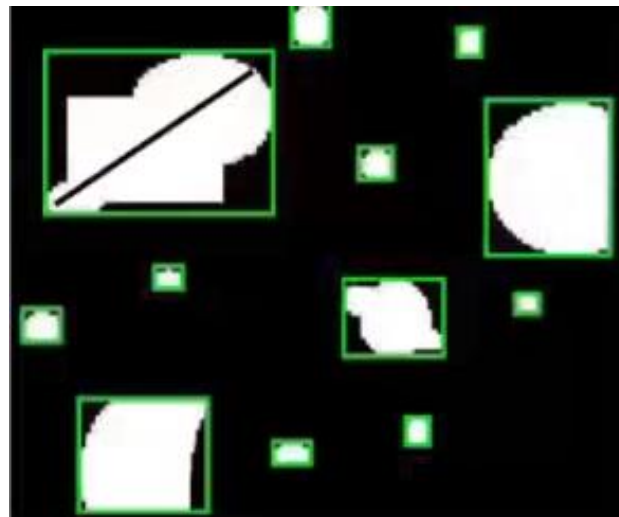
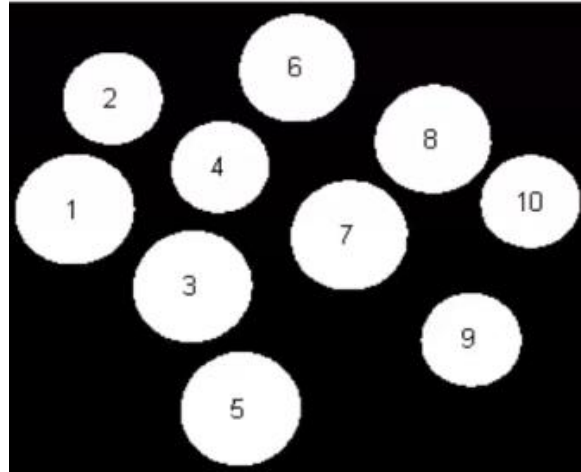


Figura 6.- Caja contenedora, estimación de tamaño

Finalmente se realiza un conteo de las unidades (granos de café) que presentan las características deseadas y se los puede considerar de calidad como se puede observar en la figura 7.







*Figura 7.-* Conteo de granos final de unidades.

### 2.2.5. Análisis de Defectos de calidad en granos de café

Se ha realizado ensayos a partir de fotografías tomadas en granos de café de dos variedades (Arábica y Robusta), para lo cual se han capturado las imágenes a una altura de 20 centímetros con una cámara fija de un dispositivo móvil. Se ha empleado el software Matlab para determinar las características visuales y mediante comparaciones, identificar el tipo de defecto existente en muestras seleccionadas para este propósito.

Los defectos que se analizaron fueron: Broca, grano negro, grano partido y caracolilla como se puede observar en la figura 8.

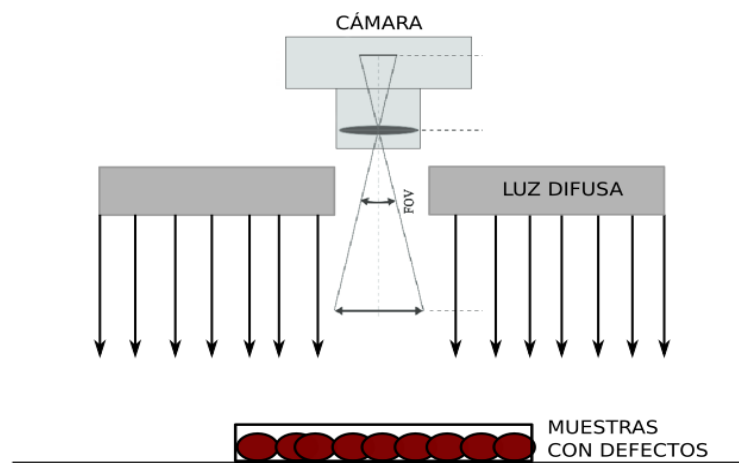
Broca	Grano Negro	Grano Partido	Caracolilla
			



*Figura 8.- Defectos en granos de café a analizar*

El análisis consideró las etapas de: obtención de la imagen, preprocesamiento y determinación de características visuales.

Para la obtención de la imagen, se empleó una cámara con las siguientes consideraciones, resolución de 4000x3000 píxeles, autoenfoco y correctores desactivados, además se han elegido condiciones normales de captura. La iluminación empleada será difusa (figura 9) y central para evitar las sombras en los granos y apreciar de mejor manera su geometría.



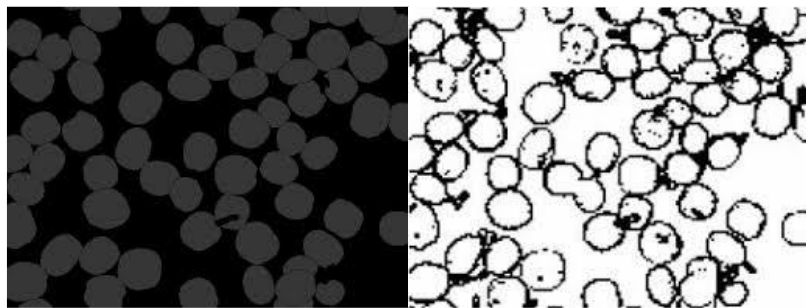
*Figura 9.- Disposición para la obtención de las imágenes de análisis*



*Figura 10.- Implementación de la metodología*

Para el preprocesamiento se han realizado algunas operaciones con la imagen original, entre ellas, se ha escalado a una resolución menor a los 800x600 píxeles a fin de reducir la exigencia en el procesamiento de los datos. Además, se ha convertido las imágenes a escalas de grises o a binarias, dependiendo del tipo de análisis empleado. Adicionalmente se han evaluado los canales de color para identificar aspectos en el cambio de tono en la especie de café negro.

Mediante la función “RegionProps” de Matlab, se ha obtenido características tales como el área, perímetro en píxeles y otras como área rellena, y boundinbox, que se han obtenido a partir de los contornos detectados en la imagen binaria (figura 11).



*Figura 11.- Detección de contornos a partir de una imagen binaria*

#### **2.2.5.1. Análisis para el defecto tipo “Broca”**

Para analizar este defecto (Figura 12), se identifican las zonas oscuras o perforaciones que posee el grano y de las compara con el número total de granos identificados. Si el número de zonas es mayor al número de grano y existen zonas reducidas circulares identificadas, entonces se detectará este defecto.



*Figura 12.- Defecto tipo “Broca” en granos de café*

### 2.2.5.2. Análisis para el defecto tipo “Grano negro”

Para determinar este defecto, se evalúan los canales de color, comparándolos con valores estándar para la especie. Se descomponen los canales Red, Green y Blue, y se suman sus intensidades, estos valores se comparan según los canales de referencias y se determina las diferencias en el color, determinando así este defecto.



*Figura 13.- Defecto tipo “Grano negro” en granos de café*

### 2.2.5.3. Análisis para el defecto tipo “Partido”

Para determinar este tipo de defectos, se compara las áreas obtenidas en píxeles y en número de contornos, si las áreas son menores en promedio a las de un grano de su especie, entonces se considerará que el grano no estará completo sin tener el tamaño debido y con fracturas en su superficie generando un mayor número de contornos.



*Figura 14. Defecto tipo “Partido” en granos de café*

#### 2.2.5.4. Análisis para el defecto tipo “Caracolilla”

Se compara las áreas oscuras, continuas y de tamaño considerable en cada grano, respecto del número de granos y se evalúan las áreas, si estas son de valor considerable se considerará el defecto de caracolilla en los granos.



Figura 15.- Defecto tipo “Caracolilla” en granos de café

#### 2.2.6. Estandarización del material

##### 2.2.6.1. Estandarización de los granos de café variedad arábica y robusta a diferentes rangos de humedad

Se procedió a implementar la metodología de Gough con la finalidad de estandarizar el proceso de investigación.

$$Q = \frac{A(b - a)}{100 - b}$$

**Donde:**

**Q:** Peso del agua que se va añadir

**A:** Peso inicial de la muestra

**a:** Contenido de humedad inicial de la muestra

**b:** contenido de humedad final deseada de la sub-muestra. (Gough, 1986)

Para la comprobación de los resultados se estandarizará el proceso bajo los lineamientos de la INEN 1235 (Granos y Cereales. Determinación del Contenido de Humedad).

### 2.2.7. Plaqueamiento directo

El plaqueamiento directo estima el porcentaje de contaminación por hongos en almendras y granos. Para el cual se rige el siguiente procedimiento:

1. Se sumergen las muestras en solución de hipoclorito de sodio al 0.4 % por 2 minutos
2. Enjuagar las muestras con agua destilada.
3. Se inocula las muestras en agar dicloro glicerol 18 %.
4. Se realiza la incubación a 30 grados centígrados por 2 días,
5. Finalmente se realiza en conteo de granos con crecimiento fúngico, el resultado es expresado en porcentaje. (Zorzanello. Et. al.,2015)

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Resultados

#### 3.1.1. Análisis de defecto "Grano Negro" variedad arábica y robusta mediante visión artificial

Para el análisis de este defecto se evaluó las tonalidades de color azul, verde y rojo de granos sanos de la variedad arábica y granos con defecto "Grano negro", con la finalidad de discriminar los granos que tengan un rango más elevado en el canal de tonalidad azul, debido a que esta tonalidad se presenta en los objetos con rango de color más oscuro (grano negro).



Figura 16.- Evaluación grano sano y grano negro de la variedad arábica



*Figura 17.- Evaluación grano sano y grano negro de la variedad robusta*

Mediante un ensayo prueba error de funciones de programación generadas en el programa MatLab se obtuvo la ecuación que permitió evaluar este defecto el cual tiene el siguiente esquema:

1. `im=imread('Neg1.jpeg');`
2. `im=imcrop(im,[270 450 420 420]);`
3. `subplot(1,3,1);`
4. `imshow(im);`
5. `canalRojo=sum(sum(im(:,:,1)));`
6. `canalVerde=sum(sum(im(:,:,2)));`
7. `canalAzul=sum(sum(im(:,:,3)));`
8. `imS=imread('San1.jpeg');`
9. `imS=imcrop(imS,[270 450 420 420]);`
10. `subplot(1,3,2);`
11. `imshow(imS);`
12. `canalRojoS=sum(sum(imS(:,:,1)));`
13. `canalVerdeS=sum(sum(imS(:,:,2)));`
14. `canalAzulS=sum(sum(imS(:,:,3)));`
15. `if canalAzul>canalAzulS`
16. `disp('Se trata de un defecto de cafe grano negro');`
17. `end`

Al ejecutar la ecuación detallada el programa inmediatamente proporcionó valores en los canales de tonalidad antes mencionado, los cuales se analizaron con la finalidad de evaluar la efectividad de la ecuación.

**Tabla 11**

*Comparación de rango de tonalidad azul de granos sanos y granos negros variedad arábigo*

<b>Pruebas de Color</b>	<b>Variedad: Arábigo</b>
<b>Comparación de muestras</b>	<b>Rango de Color Azul</b>
<b>AS1</b>	9.374.665,00
<b>AN1</b>	12.441.414,00
<b>AS2</b>	9.802.929,00
<b>AN2</b>	12.994.614,00
<b>AS3</b>	12.674.248,00
<b>AN3</b>	18.796.290,00
<b>AS4</b>	12.344.985,00
<b>AN4</b>	12.710.480,00
<b>AS5</b>	11.022.633,00
<b>AN5</b>	12.481.002,00
<b>AS6</b>	10.591.142,00
<b>AN6</b>	15.336.235,00
<b>AS7</b>	10.328.735,00
<b>AN7</b>	13.084.369,00
<b>AS8</b>	11.165.581,00
<b>AN8</b>	13.494.465,00
<b>AS9</b>	11.165.581,00
<b>AN9</b>	13.494.465,00
<b>AS10</b>	12.757.835,00
<b>AN10</b>	14.424.479,00

\*AS (Arábigo Grano Sano); AN (Arábigo, Grano Negro)

Con los resultados obtenidos en la variedad de café arábigo se puede definir que la prueba tiene un 100 % de efectividad, dado que en cada una de las



pruebas realizadas se denota un rango elevado en la tonalidad azul con referencia a un grano sano.

**Tabla 12**

*Comparación de rango de tonalidad azul de granos sanos y granos negros variedad robusta.*

<b>Pruebas de Color</b>	<b>Variedad: Robusta</b>
<b>Comparación de muestras</b>	<b>Rango de Color Azul</b>
RS1	9.914.576,00
RN1	11.535.457,00
RS2	10.059.954,00
RN2	11.662.625,00
RS3	9.112.062,00
RN3	13.750.872,00
RS4	9.185.156,00
RN4	12.857.906,00
RS5	10.686.960,00
RN5	12.572.406,00
RS6	10.655.824,00
RN6	12.021.965,00
RS7	13.600.840,00
RN7	9.292.882,00
RS8	12.989.259,00
RN8	12.748.596,00
RS9	12.819.472,00
RN9	13.064.419,00
RS10	13.699.624,00
RN10	12.331.769,00

\*RS (Robusta Grano Sano); RN (Robusta, Grano Negro)

En el caso de la evaluación de rango de tonalidad azul de granos sanos y granos negros variedad robusta se tiene como resultado que el análisis tiene una



efectividad del 70 %, debido a que se encuentran valores elevados en muestras de granos sanos en tres de las diez comparaciones realizadas, se puede inferir que en esta prueba puede haber habido incidencia en la calidad de las fotografías tomadas.

### **3.1.2. Análisis de defecto "Broca" variedad arábica y robusta mediante visión artificial**

La detección de granos de café que presentan el defecto "Broca" se realizó mediante varios ensayos de lenguaje de programación en MatLab, para lo cual se obtuvo una ecuación esquematizada la cual permite evaluar el número de contornos de zonas oscuras presentes en el grano, misma que permitió discriminar las muestras con el mayor número de píxeles. A continuación, se presenta la ecuación obtenida:

1. `im=imread('AB1.jpeg');`
2. `im=imcrop(im,[300 460 420 420]);`
3. `subplot(1,3,1);`
4. `imshow(im);`
5. `umbral=0.4;`
6. `bw=im2bw(im,umbral);`
7. `bw = bwareafilt(bw,[20 26]);`
8. `subplot(1,3,2);`
9. `imshow(bw);`
10. `[B L]=bwboundaries(bw,8);`
11. `[indx n]=size(B);`
12. `R=ones(size(bw));`
13. `subplot(1,3,3);`
14. `imshow(R);`
15. `hold on`
16. `for c=1:indx`
17. `contorno=B{c};`
18. `plot(contorno(:,2),contorno(:,1),'k')`
19. `end`
20. `hold off`

21. `areas=regionprops(L, 'area');`
22. `perimetros=regionprops(L, 'perimeter');`
23. `ejemayor=regionprops(L, 'MajorAxisLength');`
24. `arearellena=regionprops(L, 'FilledArea');`
25. `hold on`
26. `title('Bordes detectados');`

Una vez acondicionado el lenguaje de programación inmediatamente el programa genera imágenes (figura 18 y 19) y valores exactos (tabla 13 y 14), mismo que son analizados para comprobar la efectividad de la ecuación.



*Figura 18.-* Representación gráfica de contornos café con defecto "Broca" variedad arábica.



*Figura 19.-* Representación gráfica de contornos café con defecto "Broca" variedad robusta.

Como se puede observar en la figura 17 y 18 al emplear imágenes binarias la herramienta de MatLab mediante su lengua de programación genera valores de

lo que se ha requerido, en este caso se contabiliza el número de contornos detectados.

**Tabla 13**

*Comparación del total de contornos detectados entre un grano sano y grano con defecto "Broca" variedad arábigo.*

<b>Pruebas de unidades oscuras</b>	
<b>Comparación de muestras</b>	
<b>AB1</b>	15
<b>AS1</b>	21
<b>AB2</b>	22
<b>AS2</b>	16
<b>AB3</b>	9
<b>AS3</b>	21
<b>AB4</b>	19
<b>AS4</b>	15
<b>AB5</b>	19
<b>AS5</b>	6
<b>AB6</b>	11
<b>AS6</b>	11
<b>AB7</b>	15
<b>AS7</b>	11
<b>AB8</b>	22
<b>AS8</b>	9
<b>AB9</b>	12
<b>AS9</b>	12
<b>AB10</b>	16
<b>AS10</b>	22
<b>Promedio</b>	
<b>Sumatoria Broca</b>	160
	16

**Sumatoria Sano** 144 14,4

\*AS (Arábigo, Grano Sano); AB (Arábigo, Grano "Broca")

**Tabla 14**

*Comparación del total de contornos detectados entre un grano sano y grano con defecto "Broca" variedad robusta.*

<b>Pruebas de unidades oscuras</b>		
<b>Comparación de muestras</b>		
<b>RB1</b>		15
<b>RS1</b>		4
<b>RB2</b>		9
<b>RS2</b>		13
<b>RB3</b>		13
<b>RS3</b>		10
<b>RB4</b>		15
<b>RS4</b>		7
<b>RB5</b>		7
<b>RS5</b>		8
<b>RB6</b>		13
<b>RS6</b>		5
<b>RB7</b>		22
<b>RS7</b>		10
<b>RB8</b>		11
<b>RS8</b>		5
<b>RB9</b>		17
<b>RS9</b>		14
<b>RB10</b>		8
<b>RS10</b>		7
		<b>Promedio</b>
<b>Sumatoria Broca</b>	130	13
<b>Sumatoria Sano</b>	83	8,3

\*RS (Robusta Grano Sano); RB (Robusta, Grano "Broca")

Al encontrar las muestras con mayor número de contornos realizando un promedio el programa inmediatamente discrimina a las muestras que generen los valores más altos, es así que discrimina muestras que contengan imperfecciones (perforaciones) en su estructura sólida.

### **3.1.3. Análisis de defecto "Caracolilla" variedad arábica y robusta mediante visión artificial**

El análisis de defecto "caracolilla" en granos de café variedad arábica y robusta se realizó mediante un lenguaje de programación en la herramienta MatLab, en donde se esquematizo una ecuación misma que determina el número de zonas oscuras presentes en los granos, esta lógica está dada debido a que el defecto en mención origina una abertura pronunciada en la división del grano creando un espacio profundo mismo que es detectado por el programa. A continuación, detallaremos la ecuación obtenida:

1. `im=imread('C1.jpeg');`
2. `im=imcrop(im,[250 460 420 420]);`
3. `subplot(1,3,1);`
4. `imshow(im);`
5. `umbral=0.4;`
6. `bw=im2bw(im,umbral);`
7. `bw = bwareafilt(bw,[60 180]);`
8. `subplot(1,3,2);`
9. `imshow(bw);`
10. `[B L]=bwboundaries(bw,8);`
11. `[indx n]=size(B);`
12. `R=ones(size(bw));`
13. `subplot(1,3,3);`
14. `imshow(R);`
15. `hold on`
16. `for c=1:indx`
17. `contorno=B{c};`

```

18.plot(contorno(:,2),contorno(:,1),'k')
19.end
20.hold off
21.areas=regionprops(L, 'area');
22.perimetros=regionprops(L, 'perimeter');
23.ejemayor=regionprops(L,'MajorAxisLength');
24.areasrellena=regionprops(L,'FilledArea');
25.hold on
26.title('Bordes detectados');
27.hold off
28.imwrite(bw,'oscuroC.jpg');

```

La ecuación detallada tiene la misma lógica utilizada para la detección de granos con defecto "broca", sin embargo, se realizó ajustes los cuales permiten que la herramienta MatLab encuentre zonas más amplias, en este caso nos genera el número de contornos encontrados entre 60 y 180 pixeles, es así que gráfica y arroja resultados con las características expuestas.



*Figura 20.-* Representación gráfica de contornos café con defecto "Caracolilla" variedad arábica.



*Figura 21.- Representación gráfica de contornos café con defecto "Caracolilla" variedad robusta.*

Al encontrar zonas oscuras inmediatamente es el programa reconoce y los contabiliza, genera datos exactos del número de bordes o contornos encontrados con la finalidad de comparar con los que presenta un grano sano.

### **Tabla 15**

*Comparación del total de contornos detectados entre un grano sano y grano con defecto "Caracolilla" variedad arábica.*

<b>Pruebas de unidades oscuras (Caracolilla)</b>	
<b>Comparación de muestras</b>	
<b>AC1</b>	52
<b>AS1</b>	26
<b>AC2</b>	40
<b>AS2</b>	36
<b>AC3</b>	28
<b>AS3</b>	25
<b>AC4</b>	34
<b>AS4</b>	29
<b>AC5</b>	34
<b>AS5</b>	41
<b>AC6</b>	24
<b>AS6</b>	64
<b>AC7</b>	52
<b>AS7</b>	33
<b>AC8</b>	35
<b>AS8</b>	38
<b>AC9</b>	55
<b>AS9</b>	35
<b>AC10</b>	44
<b>AS10</b>	37

	<b>Promedio</b>	
<b>Sumatoria</b>	398	39,8
<b>Caracolilla</b>		
<b>Sumatoria Sano</b>	364	36,4

\*AS (Arábigo, Grano Sano); AC (Arábigo, Grano "Caracolilla")

**Tabla 16**

*Comparación del total de contornos detectados entre un grano sano y grano con defecto "Caracolilla" variedad robusta.*

<b>Pruebas de unidades oscuras (Caracolilla)</b>	
<b>Comparación de muestras</b>	
<b>RC1</b>	57
<b>RS1</b>	24
<b>RC2</b>	34
<b>RS2</b>	26
<b>RC3</b>	43
<b>RS3</b>	34
<b>RC4</b>	51
<b>RS4</b>	31
<b>RC5</b>	33
<b>RS5</b>	24
<b>RC6</b>	48
<b>RS6</b>	32
<b>RC7</b>	73
<b>RS7</b>	23
<b>RC8</b>	70
<b>RS8</b>	10
<b>RC9</b>	48
<b>RS9</b>	10
<b>RC10</b>	75
<b>RS10</b>	33



	<b>Promedio</b>	
<b>Sumatoria</b>	532	53,2
<b>Caracolilla</b>		
<b>Sumatoria Sano</b>	247	24,7

\*RS (Robusta Grano Sano); RC (Robusta, Grano "Caracolilla")

En las pruebas realizadas en las variedades de café arábigo y robusta al realizar una comparación del número total de contornos o bordes entre granos sanos y granos de café con defecto "Caracolilla", estos últimos presentan un valor más elevado que un grano sano, consecutivamente el programa mediante su lenguaje de programación reconoce estas zonas y discrimina las muestras que tengan mayor número de contornos dando como resultado que la muestra analizada tiene defecto "Caracolilla".

### **3.1.4. Análisis de defecto "Grano Partido" variedad arábigo y robusta mediante visión artificial**

Para el reconocimiento del defecto "Grano partido" en la variedad arábigo y robusta se planteó una ecuación con el lenguaje de programación MatLab, la cual tiene como objetivo detectar el número de contornos encontrados en una muestra de café sano y café defectuoso. En este caso se analizó que los granos partidos al tener una superficie y contorno irregular tiende a poseer en su estructura sólida un mayor número de contornos a diferencia de un grano integro. A continuación, se presenta la ecuación desarrollada para la detección de este defecto:

1. `im=imread('Ap10.jpeg');`
2. `im=imcrop(im,[270 430 420 420]);`
3. `subplot(1,3,1);`
4. `imshow(im);`
5. `umbral=0.3;`
6. `bw=im2bw(im,umbral);`
7. `bw=bwareaopen(bw,40);`
8. `subplot(1,3,2);`
9. `imshow(bw);`

```
10.[B L]=bwboundaries(bw,8);
11.[indx n]=size(B);
12.R=ones(size(bw));
13.subplot(1,3,3);
14.imshow(R);
15.hold on
16.for c=1:indx
17.contorno=B{c};
18.plot(contorno(:,2),contorno(:,1),'k')
19.end
20.hold off
21.areas=regionprops(L, 'area');
22.perimetros=regionprops(L, 'perimeter');
23.ejemayor=regionprops(L,'MajorAxisLength');
24.arearellena=regionprops(L,'FilledArea');
25.hold on
26.title('Bordes detectados');
27.hold off
28.imwrite(bw,'oscuro.jpg');
29.if indx>800
30.disp('Es grano partido');
31.else
32.disp('Es grano sano');
33.end
```

Al aplicar la ecuación anteriormente esquematizada la herramienta de MatLab gráfica y genera resultados de una imagen transformada a imagen binaria, estas imágenes y datos son el número exacto de contornos que se encuentran en la imagen final.

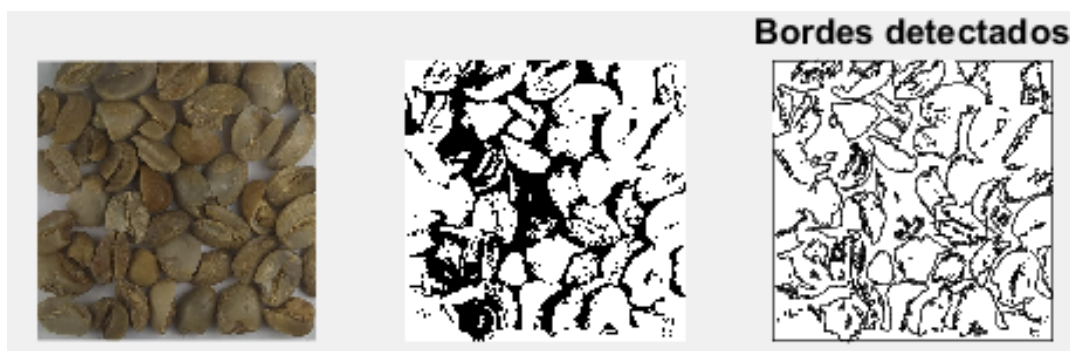


Figura 22.- Representación gráfica de contornos café con defecto "Grano Partido" variedad arábica.



Figura 23.- Representación gráfica de contornos café con defecto "Grano Partido" variedad robusta.

Una vez analizadas las imágenes se generan los valores del número de contornos obtenidos, en los cuales se observó efectivamente que los granos de café con defecto "Grano Partido" poseen un número más elevado en relación a los granos sanos.

**Tabla 17**

*Comparación del total de contornos detectados entre un grano sano y grano con defecto "Grano Partido" variedad arábica.*

<b>Pruebas de contornos (Partido)</b>	
<b>Comparación de muestras</b>	
<b>AP1</b>	766
<b>AS1</b>	689
<b>AP2</b>	855

<b>AS2</b>	814
<b>AP3</b>	831
<b>AS3</b>	342
<b>AP4</b>	977
<b>AS4</b>	766
<b>AP5</b>	990
<b>AS5</b>	648
<b>AP6</b>	819
<b>AS6</b>	686
<b>AP7</b>	1082
<b>AS7</b>	589
<b>AP8</b>	884
<b>AS8</b>	546
<b>AP9</b>	876
<b>AS9</b>	544
<b>AP10</b>	1001
<b>AS10</b>	405

	<b>Promedio</b>	
<b>Sumatoria</b>	9081	908,1
<b>Partido</b>		
<b>Sumatoria Sano</b>	6029	602,9

\*AS (Arábigo, Grano Sano); AP (Arábigo, Grano "Partido")

### **Tabla 18**

*Comparación del total de contornos detectados entre un grano sano y grano con defecto "Grano Partido" variedad robusta.*

<b>Pruebas de contornos (Partido)</b>	
<b>Comparación de muestras</b>	
<b>RP1</b>	890
<b>RS1</b>	444
<b>RP2</b>	957

<b>RS2</b>	533
<b>RP3</b>	835
<b>RS3</b>	469
<b>RP4</b>	629
<b>RS4</b>	492
<b>RP5</b>	850
<b>RS5</b>	361
<b>RP6</b>	684
<b>RS6</b>	397
<b>RP7</b>	1056
<b>RS7</b>	416
<b>RP8</b>	782
<b>RS8</b>	271
<b>RP9</b>	731
<b>RS9</b>	358
<b>RP10</b>	716
<b>RS10</b>	325

---

**Promedio**

<b>Sumatoria</b>	8130	813
<b>Partido</b>		
<b>Sumatoria Sano</b>	4066	406,6

---

\*RS (Robusta Grano Sano); RP (Robusta, Grano "Partido")

Mediante la evaluación de los datos y la discriminación del programa se estandarizó que las muestras que contengan en promedio mayor o igual a 800 se reconocerá como grano partido para posteriormente hacer la separación de las muestras que contengan este rango.

### 3.1.5. Estandarización de los granos de café variedad arábica y robusta a diferentes rangos de humedad

Para obtener una humedad estandarizada de los granos de café variedad arábica y robusta se tomó la primera muestra la cual se encontraba en 11 % de humedad, estos granos de café fueron adquiridos y analizados por proveedores certificados de café. Posteriormente las muestras se estandarizaron al 15 % de humedad mediante la implementación de la metodología de Gough con la finalidad de evaluar el crecimiento microbiano a diferentes humedades. Para la implementación de esta metodología se tomó el peso inicial de la muestra, la humedad inicial y la humedad a la que se quería estandarizar, dando como resultado la cantidad de agua que se añadiría a la muestra inicial (tabla 18).

**Tabla 19**

Resultados para la estandarización de humedad en granos de café variedad arábica y robusta

<b>Estandarización de Humedad al 15 %</b>				
<b>Muestras</b>	<b>Peso Inicial</b>	<b>Humedad Inicial</b>	<b>Humedad Final</b>	<b>Cantidad de agua añadida en ml</b>
<b>AS</b>	6 g	11%	15%	0,28
<b>AC</b>	4 g	11%	15%	0,19
<b>AN</b>	3 g	11%	15%	0,14
<b>AB</b>	4 g	11%	15%	0,19
<b>AP</b>	4 g	11%	15%	0,19
<b>RS</b>	4 g	11%	15%	0,19
<b>RC</b>	5 g	11%	15%	0,24
<b>RN</b>	3 g	11%	15%	0,14
<b>RB</b>	3 g	11%	15%	0,14
<b>RP</b>	3 g	11%	15%	0,14

\*AS (Arábigo Grano Sano); AN (Arábigo, Grano Negro); AP (Arábigo Grano Partido); AB (Arábigo Broca); AC (Arábigo Caracolilla); RS (Robusta Grano Sano); RN (Robusta Grano Negro); RP (Robusta Grano Partido); RB (Robusta Caracolilla); RB (Robusta Broca).

Una vez encontrado el valor exacto de agua en mililitros se añadió a las muestras iniciales, mismas que fueron envasadas en empaques de aluminio con la finalidad de repeler el ingreso de humedad a las muestras ya estandarizadas.

### 3.1.6. Plaqueamiento directo de granos de café variedad arábica y robusta

Los granos de café estandarizados con humedades de 11 % y 15% se inoculó en agar dicloro glicerol 18 %.las cuales fueron incubadas a 30 grados Celsius, posteriormente se evaluó a las 48 y 120 horas con la finalidad de registrar el avance de infección en cada una de las placas.

A continuación, se presenta el resultado de la evaluación de las placas inoculadas con granos de café:

**Tabla 20**

Evaluación de placas inoculadas con granos de café a diferentes humedades

#### Análisis de crecimiento microbiano de granos de café

Tiempo de incubación: 48 h		Repetición			
Tratamiento: Humedad	Muestra:5u/p	1	%	2	%
11%	AS	0	0%	0	0%
	AN	3	60%	2	40%
	AP	0	0%	2	40%
	AC	0	0%	0	0%
	AB	1	20%	0	0%
	RS	2	40%	2	40%
	RN	3	60%	1	20%
	RP	4	80%	4	80%
	RC	5	100%	3	60%
	RB	5	100%	5	100%
15%	AS	0	0%	1	20%

AN	1	20%	3	60%
AP	2	40%	1	20%
AC	1	20%	2	40%
AB	3	60%	2	40%
RS	4	80%	1	20%
RN	2	40%	3	60%
RP	2	40%	3	60%
RC	4	80%	5	100%
RB	5	100%	3	60%

\*AS (Arábigo Grano Sano); AN (Arábigo, Grano Negro); AP (Arábigo Grano Partido); AB (Arábigo Broca); AC (Arábigo Caracolilla); RS (Robusta Grano Sano); RN (Robusta Grano Negro); RP (Robusta Grano Partido); RB (Robusta Caracolilla); RB (Robusta Broca).

Como se puede observar en la tabla 19 existe presencia de crecimiento microbiano en muestras estandarizadas de humedad al 11 y 15 % a las 48 horas de inoculación de los granos de café variedad arábigo y robusta sanos y con defectos. Sin embargo, se puede presenciar que dicho crecimiento se acelera en granos de café con humedad del 15 %, esto debido a que las condiciones extrínsecas al grano (humedad y medio de cultivo) son las apropiadas para que se genere la aceleración de crecimiento de los microorganismos. De acuerdo a los resultados de porcentaje de infección de los defectos en las dos humedades ensayadas, la humedad de 15% supera en porcentaje de infección a la humedad del 11% en aproximadamente un 10 por ciento. Esto desde el punto de vista práctico podemos deducir que en un lote de 1 tonelada de granos al 15% de humedad al compararse con un lote de 10% de humedad de la misma variedad; el lote de 15% tendrá aproximadamente 100 kilos de granos infectados más que el lote de 10% de humedad. Esto sumado a una mala práctica agrícola (principalmente en el almacenamiento de granos con humedad > de 15%) puede representar un aumento gradativo del número de defectos de los granos de café, una pérdida de calidad extrínseca del grano (color, densidad, pérdida de características nutricionales y funcionales)

La presencia de microorganismos en granos con defectos es más pronunciada debido al desgaste de las parte superficial como es el caso del defecto



“caracolilla” y “broca” donde se generó un rango de crecimiento entre el 60% y 100% del total de granos inoculados, dicho desgaste superficial (orificios) permiten al microorganismo introducirse en su estructura sólida y aprovechar los nutrientes que tiene en su composición, sin embargo, se puede observar que existe crecimiento en granos sanos mismo que se acelera con el aumento de la humedad del grano, en este caso se puede inferir que los granos en su mayoría se encuentran en simbiosis con los microorganismos independientemente de su estado físico pero con un buen manejo de buenas prácticas de almacenamiento el crecimiento microbiano va a generar una reducción exponencial de la reproducción microbiana.

Granos sanos y con defectos con humedad arriba de 14% pueden ser más susceptibles a ataque de plagas e insectos, la respiración en caso de semillas y granos de café es más intensa y puede generar la humidificación de los contornos lo que favorece el crecimiento de hongos del entorno y aumento de actividad de hongos que han infectado el grano. Esto puede conllevar en el primer caso a un cambio en la morfología de los granos y aumento de defectos y en la segunda situación cambios en la densidad y composición nutricional y de componentes funcionales del café por acción de microorganismos que actúan y se reproducen mejor en humedades altas.

### **3.2. Discusión**

El cultivo de café en el Ecuador comprende uno de los sectores productivos con mayor relevancia económica tanto para consumo nacional como para exportación, en el año 2019 se registró ingresos por exportación de café de 77.781.062 millones de dólares. (ANECAFE, 2020). Dado la importancia que representa el sector productivo agrícola en el Ecuador la implementación de nuevas herramientas tecnológicas ha ido incrementando con el pasar de los años, sin embargo, la implementación de estas herramientas tiende a tener valores elevados desencadenando una desigualdad entre los productores de café a nivel nacional.

Actualmente la optimización de los procesos productivos para la producción de café se centra principalmente en el lavado y tostado del grano para lo cual se ha

implementado nuevas técnicas y equipos que permitan optimizar el proceso y generar calidad al producto final. En el caso del proceso de tostado de café el tiempo que requiere este procedimiento depende de algunos factores como: maquinaria, costumbre del mercado y la calidad del grano de café, dejando una media del tiempo de proceso entre 12 y 25 minutos (figura 24). (Ministerio de Industrias y Productividad, 2016).

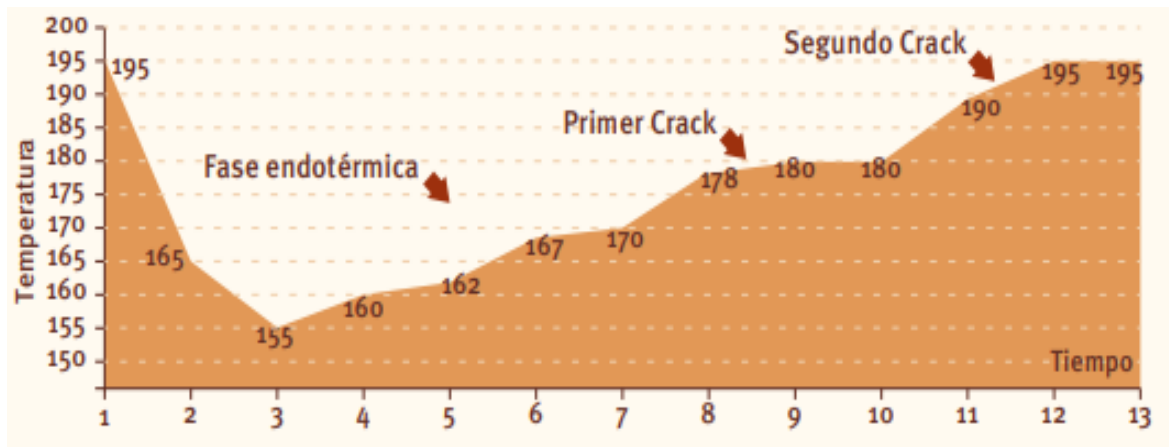
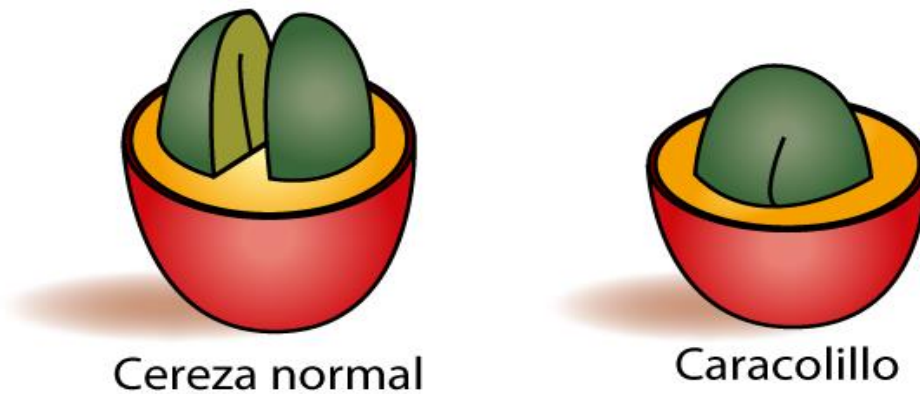


Figura 24.- Relación de factores relevantes en el proceso de tueste. (Ministerio de Industrias y Productividad, 2016).

Uno de los principales factores que inciden en la maximización de tiempo en el proceso de tostado es la calidad del grano, sin embargo, son muy pocas las empresas dedicadas a esta línea de negocio que implementan maquinaria para la selección y clasificación de granos sin defectos de calidad, según un estudio realizado en empresas cafeteras la selección errónea de granos de café puede llegar a generar el 80 % de problemas de calidad en el producto terminado, es por ello que en este caso dichas empresas han optado por la implementación de herramientas y equipos tecnológicos que les permitan optimizar el proceso productivo. (Ramos & Criollo, 2017).

En la presente investigación se ha tomado el café grano "caracolilla" como un grano defectuoso dada las características diferentes que tiene en su estructura en comparación a un grano sano, el grano "caracolilla" tiende a tener una estructura más esférica debido a que crece de forma continua al no poseer otro grano que ocupe la totalidad del cerezo (figura 25), según la empresa Café

Veracruz (2017), el llamado defecto "caracolilla" no debe ser considerado como defecto debido a que gracias a su estructura en el tostado el tiempo se minimiza y la calidad mejora, además de aportar mayor intensidad en las propiedades organolépticas del producto terminado.



*Figura 25.- Origen del grano de café "caracolilla". (Café Veracruz, 2017).*

Actualmente tanto en el campo industrial y agroindustrial, como en áreas que conllevan rutinas cotidianas como el tránsito y el control de objetos en zonas aeroportuarias se ha venido implementando la herramienta de la visión artificial, la cual tiene como objetivo principal estandarizar los procesos y optimizar tiempos y movimientos en cada una de las áreas aplicadas, la aplicación de un sistema de visión artificial en los diferentes procesos producción puede generar un 100 % de fiabilidad mediante su verificación objetiva y permanente. La optimización de la producción mediante esta herramienta conlleva algunos factores importantes como: la reducción de los costos en producción, baja de recall de productos, reducción de los costos por el personal operativo y reducción de tiempos y movimientos. (Unión Europea & Gobierno de España, 2012).

El sistema de visión artificial desarrollado en esta investigación tiene como finalidad ser el soporte del personal operativo en el proceso de selección de los granos de café y se lo ha desarrollado puesto que el proceso mencionado es un PCC (punto crítico de control), debido a la gran incidencia que tiene sobre el producto final, la herramienta es mencionada como soporte debido a que la percepción del ojo humano posee una gran sensibilidad siempre y cuando los objetos a ser analizados y comparados no sean muchos, dado que el ojo del ser humano al percibir al mismo tiempo un nivel superior a 24 tonalidades pierde casi

la totalidad de eficacia en la discriminación de los elementos comparados, creando el margen de error suficiente como para dejar pasar algunos elementos con defectos.(Platero C., 2009).

La implementación de estas herramientas tecnológicas está dada por la eficacia de detección de estructuras, las empresas que se dedican a la fabricación y estructuración de estas herramientas realizan pruebas para determinar la eficacia de su producto, según Infaimon (2017) donde realizó una prueba de verificación de estructuras en trigo mediante visión artificial, obtuvo un promedio entre el 69 y 99 % de efectividad en el reconocimiento de muestras que no contengan defectos, es decir abala el porcentaje de efectividad de las pruebas realizadas en este estudio las cuales se mantienen en un margen del 70 a 100 % de efectividad.

En las pruebas realizadas se observa en la mayoría de los casos una efectividad de los diseños desarrollados del 70 %, en los cuales infieren algunos factores como la calidad de las imágenes, dicho porcentaje comparado con el estudio realizado por Hernández y Prieto (2005), en el cual se analizó mediante un sistema artificial de redes neuronales la maduración de los granos de café las pruebas alcanzaron el 89.9% de efectividad, sin embargo es importante mencionar que dicho estudio trabajo el peso y el color, a diferencia del trabajo realizado donde se analiza la estructura y zonas extrañas al grano (defectos).

Para el análisis del defecto de grano partido en granos de café variedad arábica y robusta se realizó la contabilización de los contornos que presente el grano en su estructura sólida, esta prueba generó el 100 % de efectividad, según el estudio realizado por Sevillano (2015) el cual consistía en la evaluación de defectos de granos de arroz, la prueba de grano partido mediante visión artificial y el comando de MatLab menor tamaño de área, la prueba no alcanzó los resultados esperados debido a que el comando utilizado no percibía las zonas vacías y evaluaba como si el grano no presentará ningún defecto, donde se puede inferir que es razonable la aplicación de la contabilización de contornos para evaluar este defecto de calidad.

En el análisis de los resultados finales de la evaluación del defecto broca y caracolilla los resultados fueron acertados, sin embargo, el rango entre un grano sano y un defectuoso en la experimentación tiende a ser muy cercano, esto puede conllevar a que el sistema no discrimine eficazmente este defecto, una de las hipótesis planteadas para que se genere esta problemática es el escaso número de muestras experimentales; cómo se puede observar en el estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia (2015) el cual se enfocó en la detección de defecto broca en granos de café mediante la aplicación de redes neuronales artificiales (visión artificial), es importante mencionar que para que el estudio tenga éxito se realizaron pruebas en muestras con 500 imágenes de granos sanos y granos con defecto, confirmando la hipótesis planteada. Otro estudio realizado por Herrera et al., (2015) consistía en la detección de broca en granos de café mediante creación de algoritmos de lenguaje de programación, para lo cual se tomaron 80 muestras de granos individuales con defecto broca en su estructura, este estudio obtuvo un algoritmo con el 97 % de efectividad para la detección del defecto broca.

Las buenas prácticas de almacenamiento de materia prima comprenden una serie de factores ambientales y estructurales los cuales tienen como objetivo principal conservar las propiedades químicas, fisiológicas y organolépticas de los productos, uno de los principales factores controlados en el almacenamiento de granos de café es la humedad, según Proain (2020) los granos de café independientemente de la variedad se debe mantener entre el 10 – 12 % de humedad con la finalidad de conservar sus propiedades organolépticas, mantener la inocuidad y disminuir el crecimiento de microorganismos. Con la finalidad de corroborar el material bibliográfico en el presente trabajo de titulación se sometió a granos de café sanos y defectuosos a 11 y 15 % de humedad interna, con la finalidad de evaluar el crecimiento microbiano.

En el análisis de los diferentes tratamientos de humedad sometidos a granos de café variedad arábica y robusta se obtuvo que existe un incremento del 10 % de crecimiento microbiano entre el 11 y 15 %, en el estudio realizado por Puerta (2006) define que los granos de café con 12 % de humedad presentan el 0,67 de aw (actividad de agua) en el grano el cual es un valor idóneo para la

conservación correcta de los granos de café, también analiza que granos con actividad de agua superior a 0,77% generan un crecimiento exponencial de microorganismos de la familia *Aspergillus*. Sin embargo, en un estudio realizado por Caballero (2019) concluye que el manejo del cultivo de café con humedad del 15 % puede generar características aceptadas en el tostado y que se podría manejar granos con humedades superiores al 12 % siempre y cuando se cumplan con todos los requerimientos de almacenamiento.

Entre los resultados obtenidos de crecimiento microbiano se pudo observar que en granos de café defectuosos existe una maximización del crecimiento microbiano, esto debido a que los defectos analizados tienden a deteriorar la estructura sólida de los granos permitiendo que las cepas de microorganismos se alojen y aprovechen las características nutricionales del grano. Según la FAO (2017) los granos defectuosos tienen relación directa con el crecimiento exponencial de microorganismos como la Ocratoxina, por lo cual recomienda un correcto manejo de la selección de los materiales que van a ser almacenados.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

En la evaluación individual de los defectos de calidad variedad arábica y robusta se registró datos exactos, en el caso de la valoración del algoritmo encontrado para el análisis de color en el defecto de calidad "grano negro" se puede inferir que es aplicable y eficaz debido a que pudo reconocer acertadamente la mayoría de las muestras, lo cual asevera el análisis previo realizado que describe que los granos de café con defecto "grano negro" independientemente de la variedad presentan un rango más elevado de tonos azules lo cual les prescribe su color estructural.

Para la valoración de los defectos "caracolilla" y "broca" en granos de café el algoritmo utilizado no presentó un rango considerable entre la comparación de granos sanos y defectuosos, donde el número de contornos encontrados por la herramienta en el caso de granos defectuosos solo percibía un pequeño porcentaje mayor al de los granos sanos, posiblemente debido al número escaso de muestras y comparaciones realizadas, sin embargo, se puede concluir que

este algoritmo es aplicable pero no representa un porcentaje aceptable de seguridad en los datos que proporciona.

Con respecto al análisis de defecto "grano partido" tanto en la variedad arábica y robusta el algoritmo implementado generó los resultados esperados, donde pudo reconocer la totalidad de los granos defectuosos, infiriendo que el análisis previo realizado es acertado, el cual prescribe que los granos partidos al tener una forma irregular en su estructura sólida tiende a presentar un mayor número de contornos con relación a un grano integro, concluyendo que este algoritmo es aplicable y totalmente confiable.

Finalmente, con relación al sistema de visión artificial aplicado se puede concluir que puede reconocer características que en la selección manual realizada por el ser humano no se pueden percibir con facilidad, sin embargo, es de vital importancia que al ser aplicado los algoritmos implementados cumplan el porcentaje de efectividad estandarizado por las empresas.

En el análisis de la comparación del crecimiento microbiano en granos a 11 y 15 % de humedad se puede inferir que la humedad es un factor fundamental para la maximización o minimización del crecimiento microbiano, dado que en se pudo registrar que existe un incremento del 10 % de infección de graos de café cuando presentan una humedad elevada, si este porcentaje extrapolamos a producciones cafeteras a gran escala el rango de perdida es considerable.

Para concluir se puede aseverar que el crecimiento en granos que presentan defectos de calidad en su estructura ayuda a incrementar el crecimiento microbiano debido a que su parte externa se debilita y permite la incubación de microorganismos, los cuales generan cambios en las propiedades organolépticas, peso del grano y calidad final del producto.

#### **4.2. Recomendaciones**

Una vez analizado cada uno de los algoritmos encontrados, se recomienda que para el caso de evaluación de defectos "broca" y "caracolilla" se considere realizar con un mayor número de muestras, con la finalidad que se puedan encontrar diferencias significativas mismas que serán discriminadas

automáticamente por el algoritmo implementado en este proyecto de investigación.

Es recomendable para las empresas dedicadas a la línea de negocio cafetero analizar la opción de implementar herramientas como la visión artificial, mismas que generan una estandarización del proceso, minimizarán costos y tiempos de producción.

Como se ha mencionado a lo largo de este estudio la selección del material que va a ser procesado es uno de los principales factores con incidencia en el producto final, es por ello que se recomienda puntualizar la selección de la materia prima e implementar herramientas como apoyo al personal operador.

Finalmente analizado la incidencia de la humedad en los procesos productivos para la obtención de café tostado, se recomienda manejar buenas prácticas de almacenamiento, para lo cual se ha venido desarrollando empaques que no permitan el ingreso de humedad a la materia prima (herméticas), como por ejemplo las bolsas Grainpro las cuales se recomienda utilizar como reemplazo de los empaques tradicionales de yute o polipropileno.



## REFERENCIAS

- Herrera, D. (2019). ANÁLISIS DE LOS PRECIOS DEL CAFÉ ECUATORIANO EN EL MERCADO ALEMÁN. Recuperado el 29 de abril del 2020 de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14096/1/ECUACE2019-CI-DE00290.pdf>
- Varela, M. (2012). Elaboración de café (pergamino y tostado) para exportación. Recuperado el 29 de abril del 2020 de <https://www.flacso.edu.ec/portal/pnTemp/PageMaster/dxagdqca2xnzrm5f88bjollbqsfpex.pdf>
- Sánchez, J. (2015). PLAN DE MANEJO DE CAFÉ EN EL AMBITO DEL VRAEM. Recuperado el 30 de abril del 2020 de [http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/educacion\\_extension/c30/maejo\\_cafe\\_vraem.pdf](http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/educacion_extension/c30/maejo_cafe_vraem.pdf)
- González, R. (2018). DIAGNOSTICO Y ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DEL CAFÉ ECUATORIANO DURANTE EL PERIODO: 2010-2015. (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Machala. Recuperado el 30 de abril del 2020 de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12414/3/DE00001\\_T RABAJODETITULACION.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12414/3/DE00001_T RABAJODETITULACION.pdf)
- INIAP. (2014). CAFÉ ROBUSTA. Recuperado el 30 de abril del 2020 de <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcafer>
- Puerta, G. (2008). CALIDAD EN TAZA EN TAZA DE MEZCLAS PREPARADAS CON GRANOS DE *Coffea Arábica* L. y *C. canephora*. Recuperado el 30 de abril del 2020 de [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(03\)183-203.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(03)183-203.pdf)
- Prado, E., Ruiz, O., Zamarripa, A., González, V. (2015). Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México. *Revista de geografía*

*agrícola*. Recuperado el 1 de mayo del 2020 de <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749286004.pdf>

Delgado, P., Larco, A., García, C., Chilán, W., Patiño, M. (2002). CAFÉ EN ECUADOR: Manejo de la Broca del Fruto (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Recuperado el 1 de mayo del 2020 de [http://www.ico.org/projects/cabi\\_cdrom/PDFFiles/ECUADOR.pdf](http://www.ico.org/projects/cabi_cdrom/PDFFiles/ECUADOR.pdf)

Alvear, V., Farinango, H., Navarrete, I., Rosero, P., Noguera, J., Cuzme, F., Peluffo, D. (2016). Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones. Recuperado el 1 de mayo del 2020 de [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422017000100244](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422017000100244)

Unión Europea. (2012). Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. Recuperado el 2 de mayo del 2020 de <http://www.adimenlehiakorra.eus/documents/29934/43025/Aplicaci%C3%B3n+pr%C3%A1ctica+de+la+visi%C3%B3n+artificial+en+el+control+de+procesos+industriales.pdf/92a1a455-ffe2-4290-be95-f9ba33c02241>

ICO. (2012). Historia del café. Recuperado el 10 de mayo del 2020 de [http://www.ico.org/ES/coffee\\_storyc.asp](http://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp)

Alvarado, M., Rojas, G., (2007). CULTIVO Y BENEFICIADO DEL CAFÉ. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. Recuperado el 15 de mayo del 2020 de <https://books.google.com.ec/books?id=15qrSG-51l4C&pg=PA11&dq=taxonomia+y+morfologia+del+cafe+pdf+alvarado+%26+rojas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjw-7e5w5PrAhUo0FkKHUZgAd8Q6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=taxonomia%20y%20morfologia%20del%20cafe%20pdf%20alvarado%20%26%20rojas&f=false>

IPNI. (2019). FISIOLÓGÍA, FERTILIZACIÓN Y NUTRICIÓN DEL CAFETO. Recuperado El 15 de mayo del 2020 de [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/0ae8cd4887c66dd05257a6a00759a32/\\$FILE/Fisiologiacafeto.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/0ae8cd4887c66dd05257a6a00759a32/$FILE/Fisiologiacafeto.pdf)

- Izquierdo, J., Rodríguez, M. (2006). BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS: En busca de sostenibilidad, competitividad y seguridad alimentaria. Santiago, Chile: Marcel Gonnet. Recuperado el 17 de mayo del 2020 de <http://www.fao.org/3/A0718s/A0718s00.pdf>
- Santistevan, M., Julca, A., Borjas, R., Tuesta, O. (2014). CARACTERIZACIÓN DE FINCAS CAFETALERAS EN LA LOCALIDAD DE JIPIJAPA (MANABÍ, ECUADOR). *Ecología Aplicada*. Recuperado el 18 de mayo del 2020 de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v13n2/a13v13n2.pdf>
- Cumbicus, E., Jiménez, R., (2012). ANÁLISIS SECTORIAL DEL CAFÉ EN LA ZONA 7 DEL ECUADOR. (Tesis pregrado) Universidad Técnica Particular de Loja. Recuperado el 18 de mayo del 2020 de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2703/1/338X1227.pdf>
- Ponce, L., Orellana, K., Acuña, I., Alfonso, J., Fuentes, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*. Recuperado el 18 de mayo del 2020 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S230801322018000100015&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230801322018000100015&lng=pt&nrm=iso&tlng=es)
- Venegas, S., Orellana, D., Pérez, P. (2018). La realidad ecuatoriana en la producción de café. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*. Recuperado el 19 de mayo del 2020 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6732775>
- ANECAFE. (2020). EXPORTACIONES DE CAFÉ DEL ECUADOR PERIODO 1992 / 2019. Recuperado el 20 de mayo del 2020 de <http://www.anecafe.org.ec/local/public/galeria/Resumen%20de%20Exportaci%C3%B3n%20Seg%C3%BAAn%20D%C3%B3lares%20-%201992%202019.pdf>
- Cámara de Comercio de Guayaquil. (2012). COMERCIO EXTERIOR SECCIÓN EXPORTACIONES: exportaciones ecuatorianas de café. Recuperado el 20 de mayo del 2020 de

<http://www.lacamara.org/websitantes/images/boletines/boletin%20comercio%20exterior%20no%20%2048%20noviembre.pdf>

Fajardo, I., Sanz, J. (2003). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA DEL CAFÉ EN LOS PROCESOS DE BENEFICIO HÚMEDO TRADICIONAL Y ECOLÓGICO (Becolsub). Recuperado el 20 de mayo del 2020 de <http://infocafes.com/portal/wpcontent/uploads/2015/12/Evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-f%C3%ADsica-del-caf%C3%A9.pdf>

Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., Hincapié E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Colombia: Blanecolor Ltda. Recuperado el 22 de mayo del 2020 de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/1/Sistemas%20producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20Colombia.pdf>

Salas, K., Barrios, Y., Girón, L., (2018). Comparación de muestras de café comercial, especial y defectos de café mediante análisis del espectro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*. Recuperado el 22 de mayo del 2020 de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702008000200007](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000200007)

SCA (2019). El café Arábica lavado: Guía de defectos del café verde. Recuperado el 25 de mayo del 2020 de [https://bootcoffee.com/wp-content/uploads/2019/09/SCA\\_The-Arabica-Green-Coffee-Defect-Guide\\_Spanish\\_updated.pdf](https://bootcoffee.com/wp-content/uploads/2019/09/SCA_The-Arabica-Green-Coffee-Defect-Guide_Spanish_updated.pdf)

Perfect Daily Grind. (2018). Esto es lo Que Cuesta Producir Café en Latinoamérica. Recuperado el 25 de mayo del 2020 de <https://perfectdailygrind.com/es/2018/08/08/esto-es-lo-que-cuesta-producir-cafe-en-latino-america/>

Rosas, C., Solís, B., Cerna, F. (2019). Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial Efficient. *Revista Scientia Agropecuaria*. Recuperado el 26 de mayo del 2020 de

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S207799172019000300004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S207799172019000300004&script=sci_arttext)

COGNEX. (2016). INTRODUCCIÓN A LA VISIÓN ARTIFICIAL: Una guía para la automatización de procesos y mejoras de calidad. Recuperado el 26 de mayo del 2020 de [http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38\\_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf](http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf)

García, I., Caranqui, V. (2015). LA VISIÓN ARTIFICIAL Y LOS CAMPOS DE APLICACIÓN. *Revista Tierra Infinita*. Recuperado el 28 de mayo del 2020 de <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/tierrainfinita/article/view/76>

García, A., (2016). ESTUDIO DE LA REFLECTANCIA ESPECTRAL Y MODELOS DE PREDICCIÓN DE COLOR EN MOSAICOS VÍTREOS. (Tesis de Pregrado) Universidad de Cantabria. Recuperado el 1 de junio del 2020 de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9203/Garcia%20Alonso%20Andrea.pdf?sequence=1>

Gough. (1986). Teoría de las necesidades de Doyal y Gough. Recuperado el 1 de junio del 2020 de <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/20/2/RCE2.pdf>

Zorzanello, T., Avelino, T., Marmitt, B., Romao, N., Solla, F. (2015). ASSESSMENT OF FUNGAL CONTAMINATION IN PEANUTS MARKETED IN BULK IN THE MUNICIPALITY OF JI-PARANÁ-RO. Recuperado el 2 de junio del 2020 de <https://pdfs.semanticscholar.org/a58d/35c57324168ac5f5623660dd6584c46b80e4.pdf>

Ministerio de Industrias y Productividad. (2016). Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café. Recuperado el 28 de julio del 2020 de [https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf)

- Ramos, L., Criollo, H. (2017). Calidad física y sensorial de Coffea arábica L. variedad Colombia, perfil Nespresso AAA, en La Unión, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Recuperado el 29 de julio del 2020 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v34n2/v34n2a07.pdf>
- Café Veracruz. (2017). Café Caracolillo: la virtud de ser diferente. Recuperado el 29 de julio del 2020 de [https://www.cafeveracruz.com/blog/cafe-caracolillo/#:~:text=Cuando%20se%20habla%20de%20Caf%C3%A9,interior%20dos%20semillas%20\(granos\).](https://www.cafeveracruz.com/blog/cafe-caracolillo/#:~:text=Cuando%20se%20habla%20de%20Caf%C3%A9,interior%20dos%20semillas%20(granos).)
- Platero, C. (2009). Introducción a la Visión Artificial. Recuperado el 1 de agosto del 2020 de [http://www.ieef.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP\\_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf](http://www.ieef.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf)
- Infaimon. (2017). Midiendo la calidad del trigo. Recuperado el 1 de agosto del 2020 de <https://blog.infaimon.com/midiendo-la-calidad-del-trigo/>
- Hernández, J., Prieto, F. (2005). Clasificación de granos de café usando FPGA. *Revistas científicas de América Latina*. Recuperado el 1 de agosto del 2020 de <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478005.pdf>
- Sevillano, J. (2015). Equipo de clasificación de semillas basado en visión artificial. Implantación sobre hardware libre. (tesis de pregrado) Universidad de Valladolid. Recuperado el 2 de agosto del 2020 de <https://pdfs.semanticscholar.org/2fa0/3e5154396ded98f084f83c6baa74ed1f82a0.pdf>
- UNAM. (2015). Dispositivo detecta broca en granos de café. Recuperado el 2 de agosto del 2020 de <http://blogs.ciencia.unam.mx/cienciamundo/2018/05/15/dispositivo-detecta-broca-en-granos-de-cafe/>
- Herrera, J., Medina, S., Martínez, G., Beleño, K., Berrio, J. (2016). Clasificación de los frutos de café según su estado de maduración y detección de la broca mediante técnicas de procesamiento de imágenes. Recuperado el

2 de agosto del 2020 de  
<http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v14n1/v14n1a02.pdf>

Proain. (2020). Importancia de la humedad del grano de café para su procesamiento. Recuperado el 2 de agosto del 2020 de  
<https://proain.com/notas/importancia-de-la-humedad-del-grano-de-cafe-para-su-procesamiento/>

Puerta, G. (2006). LA HUMEDAD CONTROLADA DEL GRANO PRESERVA LA CALIDAD DEL CAFÉ. Recuperado el 3 de agosto del 2020 de  
[https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Quimica\\_Industrial/2.pdf](https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/2.pdf)

Caballero, M. (2019). DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES EXTRÍNSECOS E INTRÍNSECOS QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CAFÉ DE INVERSIONES GALAVIS. (tesis de pregrado) UNIVERSIDAD DE SANTANDER. Recuperado el 3 de agosto del 2020 de  
<https://repositorio.udes.edu.co/bitstream/001/4122/1/DETERMINACI%C3%93N%20DE%20LOS%20FACTORES%20EXTR%C3%8DNSECOS%20E%20INTR%C3%8DNSECOS%20QUE%20AFECTAN%20LA%20CALIDAD%20DEL%20CAF%C3%89%20DE%20INVERS.pdf>

FAO. (2017). Directrices para prevenir la formación de moho en el café. Recuperado el 3 de agosto del 2020 de  
[http://www.fao.org/tempref/AG/agn/coffee/guidelines\\_final\\_es.pdf](http://www.fao.org/tempref/AG/agn/coffee/guidelines_final_es.pdf)

## **ANEXOS**



**Tabla 21**

*Imágenes de defectos de calidad variedad arábica*




<b>DEFECTO</b>	<b>IMAGEN</b>
<b>Arábigo Grano Sano</b>	 A photograph showing a collection of healthy Arabica coffee beans. The beans are light brown, oval-shaped, and have a distinct central groove. They are arranged in a roughly rectangular pattern on a white background.
<b>Arábigo Grano Negro</b>	 A photograph showing a collection of dark, almost black coffee beans. These beans are significantly darker than the healthy ones, indicating a defect such as over-fermentation or mold. They are arranged in a roughly rectangular pattern on a white background.
<b>Arábigo Grano "Broca"</b>	 A photograph showing a collection of coffee beans that have been infested with weevils. The beans are light brown but show signs of damage, including small holes and irregular discoloration. They are arranged in a roughly rectangular pattern on a white background.
<b>Arábigo Grano "Caracolilla"</b>	 A photograph showing a collection of coffee beans that are severely damaged and deformed. The beans are irregular in shape, often flattened or broken, and have a mottled, dark appearance. They are arranged in a roughly rectangular pattern on a white background.

**Arábigo Grano Partido**



**Tabla 22**

*Imágenes de defectos de calidad variedad robusta*

DEFECTO	IMAGEN
<b>Robusta Grano Sano</b>	
<b>Robusta Grano Negro</b>	
<b>Robusta Grano "Broca"</b>	

**Robusta Grano "Caracolilla"**



**Robusta Grano Partido**



**Tabla 23**

*Placas inoculadas después de 72 horas variedad arábica*

MUESTRA	IMAGEN
<b>Arábica Grano Sano</b>	Two petri dishes showing inoculated Arabica coffee grains (Sano) after 72 hours. The grains are light brown and appear healthy. A small white square is visible in the center of each dish.
<b>Arábica Grano Negro</b>	Two petri dishes showing inoculated Arabica coffee grains (Negro) after 72 hours. The grains are dark brown and appear to be infected. A small white square is visible in the center of each dish.

**Arábiga Grano "Broca"**



**Arábiga Grano "Caracolilla"**



**Arábiga Grano partido**



---

**Tabla 24**

*Placas inoculadas después de 72 horas variedad robusta*

---

**MUESTRA**

**IMAGEN**

---

**Robusta Grano Sano**





**Robusta Grano Negro**



**Robusta Grano "Broca"**



**Robusta Grano "Caracolilla"**



**Robusta Grano Partido**



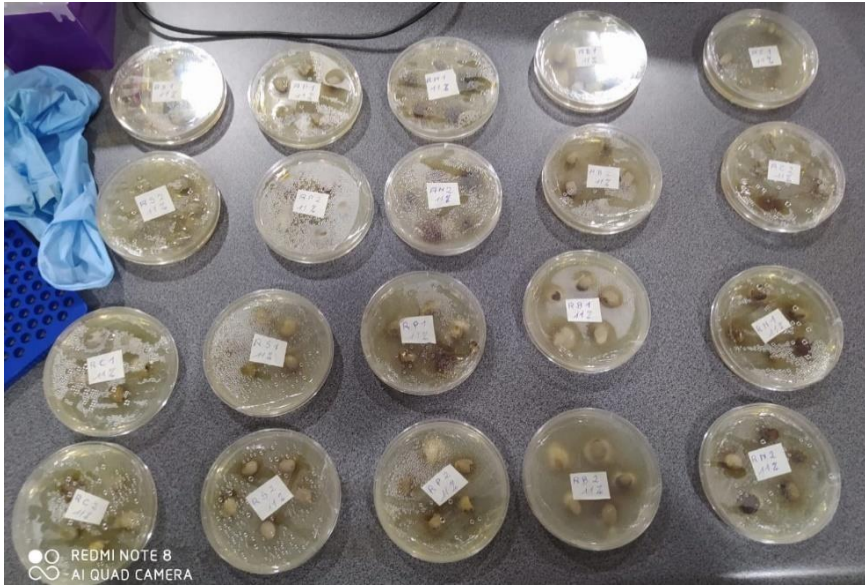


Figura 26.- Placas después de 72 horas de incubación



Figura 27. – Incubadora a 30 grados Celsius

