
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



Título del trabajo de fin de carrera

Tesis presentada por el/la Bachiller:

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO(A) DE SISTEMAS

Arequipa, 01 de Enero del 2018

Título aqui.

Esta versión definitiva de tesis
contiene las correcciones sugeridas y asesoría de la
comisión del jurado durante la defensa realizada
por nombre del autor
el día 01 de Enero del 2018.

Comisión del jurado:

-
-
-

Asesor: Nombre del asesor

DEDICATORIA

Se hará en una hoja en el ángulo inferior derecho. Se debe redactar con tipo de letra “Arial” de tamaño 10.

AGRADECIMIENTOS

ubicado en el centro de la página en tipo de letra “Arial” de 16 y en negrita. El resto se debe redactar con tipo de letra “Arial” de tamaño 12

PRESENTACIÓN

Ver anexo 09. Se debe redactar con tipo de letra “Arial” de tamaño 12

Dictamen del asesor

Incluir el formato del anexo 08 firmado por el asesor del trabajo.

Resumen

Se debe redactar con tipo de letra “Arial” de tamaño 12.

Palabras clave: palabras clave.

Abstract

Do you know ?

Keywords:

ÍNDICE DE CONTENIDO

Glosario	IX
Lista de Abreviaturas	X
Lista de Símbolos	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
Lista de Símbolos	XV
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Delimitaciones y definición del problema	2
1.2.1. Delimitaciones	2
1.2.2. Definición del problema	2
1.3. Problema principal	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis de la investigación	3
1.6. Variables e indicadores	3
1.6.1. Variable independiente	3
1.6.2. Variable dependiente	4
1.7. Viabilidad de la investigación.	4
1.7.1. Viabilidad técnica	4
1.7.2. Viabilidad operativa	4
1.7.3. Viabilidad económica	4
1.8. Justificación e importancia de la investigación.	5
1.8.1. Justificación	5
1.8.2. Importancia	5
1.9. Alcance	5
1.10. Tipo y nivel de la investigación	6
1.10.1. Tipo de la investigación	6

1.10.2. Nivel de la investigación	6
1.11. Método y diseño de la investigación	6
1.11.1. Método de la investigación	6
1.11.2. Diseño de la investigación	6
1.12. Técnicas e instrumentos de recolección de información	6
1.12.1. Técnicas	6
1.12.2. Instrumentos	6
1.13. Cobertura de estudio	7
1.13.1. Universo	7
1.13.2. Muestra	7
1.14. Cronograma y presupuesto	7
1.14.1. Universo	7
1.14.2. Muestra	7
1.15. Estructura del documento	7
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la Investigación	8
2.2. Estado del Arte	8
2.3. Marco Conceptual	10
2.3.1. Iluminación	10
2.3.2. Representación digital de la imagen	11
2.3.3. Digitalización de imágenes	11
2.3.4. Procesamiento digital de imágenes	11
2.3.5. Imágenes en escala de grises	12
2.3.6. Conversión de una imagen en color a una imagen en escala de grises	12
2.3.7. Imágenes binarias	13
2.3.8. Binarización de una imagen	13
2.3.9. OpenCV	13
3. ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA	14
3.1. Generalidades.	14
3.2. Esquema de la propuesta	14
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	15
4.1. Generalidades.	15
4.2. Esquema de la propuesta	15
5. Conclusiones y trabajos futuros	16
A. Software implementado para el sistema	17
A.1. Diagramas	17
Bibliografía	18

"ÍNDICE DE CONTENIDOS" ubicado en el centro de la página en letra "Arial" de tamaño 18 y en negrita. El detalle se debe redactar con tipo de letra "Arial" de tamaño 12.

Glosario

EO	Earth Observation
SAR	Synthetic Aperture Radar
SVF	Sky View Factor
GSV	Google Street View
DSM	Digital Surface Model
GVI	Green View Index
LST	Land Surface Temperature
LiDAR	Light Detection and Ranging

Lista de Abreviaturas

MAE	Error Absoluto Promedio (<i>Mean Absolute Error</i>)
MAPE	Porcentaje de Error Absoluto Promedio (<i>Mean Absolute Percentage Error</i>)
CCD	Dispositivos de carga acoplada (<i>Charged Coupled Device</i>)

Lista de Símbolos

<i>pfc</i>	Total de píxeles hacia el centro (<i>Pixel From Center</i>)
<i>rpc</i>	Total de radianes por píxel (<i>Radian Per Pixel Pitch</i>)
<i>ro</i>	Error por Radian (<i>Radian offset</i>)

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FORMULAS

Arial” tamaño 16 y en negrita. El detalle de los índices se debe redactar con tipo de letra “Arial” de tamaño 12

INTRODUCCIÓN

“INTRODUCCIÓN” ubicado en el centro de la página con tipo de letra “Arial” de 16 y negrita. El detalle de la introducción se debe redactar con tipo de letra “Arial” de tamaño 12

Capítulo 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El café es una de las bebidas más consumida por las personas alrededor del mundo. Su sabor, acidez, aroma, cuerpo y consistencia son una mezcla que gusta a muchísimos. En Perú es uno de los principales productos agrícolas de exportación; sin embargo, en comparación con otros países productores, el rendimiento de producción es relativamente bajo [18].

Para llegar a obtener granos de calidad se debe tener en cuenta diferentes factores como: temperatura, altura, vientos, lluvias, humedad [19], etc, algunos no serán considerados en este trabajo, aquí nos enfocamos en la calidad post-cosecha, donde la calidad de los granos de café está determinada por sus características físicas y organolépticas. Para preservar la calidad se debe llevar un control antes de la cosecha, durante la cosecha y después de la cosecha de los granos. En la fase de post-cosecha se da el beneficio húmedo, este proceso comprende varios pasos para conservar la calidad del producto como: recepción y pesado del cerezo, clasificación del cerezo, despulpado, fermentación, lavado, secado, almacenamiento del café y manejo de residuos del beneficio del café. Posterior al beneficio húmedo se da el beneficio seco, el cual ocurre antes de la exportación, está conformado por los pasos de: trillado, pulido y selección final, en esta selección final se hará la clasificación por tamaño, forma, densidad y color de los granos de café verde [36].

En el proceso de selección de granos de café son considerados diferentes características o cualidades, entre ellos tenemos: el tamaño, aspecto del café, color, abertura de la hendidura, aroma, cuerpo, acidez, amargo y sabor [31], para el proceso de control de calidad físico se utiliza una muestra de 350 gramos por lote. En este trabajo nos enfocaremos en la clasificación por tamaño de granos de café, para lo cual se usa actualmente tamices de entre 13 y 20 milímetros [36].

La clasificación por tamaños de los granos de café verde, es un parámetro de calidad, entonces aparece el término granulometría, el cual tiene como objetivo establecer una metodología de rutina para realizar el análisis del tamaño de grano entero del café verde mediante el tamizado mecánico, utilizando zarandas [21]. Para realizar esta tarea, se debe seleccionar tamices de acuerdo al tipo de clasificación que se desea obtener, los tamices deben estar ordenados de forma ascendente de acuerdo al número que poseen y ser colocados en un agitador, este zarandeo se debe hacer por lo menos dos veces sobre una muestra de 100 gramos,

pero antes se debe separar materia extraña y granos partidos. Por cada zarandeada se debe obtener los resultados en términos de porcentaje de masa, en este sentido, la suma de cada uno de los tamices, más los objetos extraños y los granos en el fondo, debe ser igual a los 100 gramos iniciales, de lo contrario, se debe hacer nuevamente todo el proceso. Como resultado final se promedia las masas obtenidas por zaranda realizada para obtener los porcentajes por tamaños de los granos.

La homogeneidad que puede existir en el tamaño de los granos de café, es también un índice de calidad en los granos, esto nos lleva a enfocarnos en las características físicas de los granos de café verde, más precisamente en el tamaño de estos, para el proceso de selección de granos de calidad. Actualmente se utilizan tamices con diferentes diámetros y se hace una clasificación por porcentaje de granos de café, según los tamices.

El proceso manual realizado para este proceso es tedioso y trabajoso, dado que la persona debe estar moviendo los tamices, contabilizando y anotando los resultados, esto puede hacer que la persona a cargo de este proceso se canse rápidamente y en consecuencia realizar este paso de forma errónea, lo que podría provocar una deficiencia en todo el proceso de control de calidad de los granos de café verde.

1.2. Delimitaciones y definición del problema

1.2.1. Delimitaciones

Se usará técnicas de procesamiento de imágenes digitales para realizar una clasificación de una muestra de granos de café verde en un ambiente controlado. Esta clasificación se hará en base a las medidas entre 13 y 20 milímetros, según el manual técnico de control de calidad del café. Se usará una cámara digital como dispositivo de adquisición. La imagen contará con una referencia en la escena la cual tendrá una medida establecida, esta se utilizará para obtener una relación cuantificable entre milímetros y píxeles. En este trabajo no consideramos escenas en movimiento ni factores externos al proceso de control de calidad de granos de café.

1.2.2. Definición del problema

El proceso manual para la clasificación por tamaño de granos de café verde es largo y tedioso para las personas a cargo de este proceso, el tamizado se debe hacer varias veces para obtener datos más precisos mediante el ponderado de los datos y si se hace mal, se debe volver hacer nuevamente todo el proceso, esto puede generar una deficiencia en el control de calidad. Es necesario automatizar este proceso de clasificación por tamaño de granos de café verde en laboratorios de control de calidad.

1.3. Problema principal

La clasificación por tamaños de granos de café, se hace de forma manual en la actualidad, pero por ser un proceso largo y que necesita una buena precisión, se hará uso de técnicas

de procesamiento de imágenes digitales para automatizar este proceso, de esta forma tener resultados más precisos de la clasificación por tamaños. Se considera la utilización de imágenes digitales de granos de café obtenida bajo condiciones de iluminación controlada, también se utilizará un objeto de referencia con medidas establecidas, el cual servirá para el cálculo de la relación pixel-milímetros, a las escenas digitales se les aplicará operadores morfológicos y de segmentación para hallar medidas estadísticas relevantes al proceso de tamizado. Finalmente, los resultados del diámetro promedio por grano serán evaluados y reportados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema computacional para la medición absoluta de diámetros de granos de café verde.

1.4.2. Objetivos específicos

- Generar un conjunto de imágenes de granos de café verde clasificado por medidas.
- Elaborar un modelo de segmentación de granos de café en una imagen digital.
- Elaborar un modelo de análisis morfológico para la estimación de medidas.
- Analizar y validar el modelo computacional propuesto.

1.5. Hipótesis de la investigación

Es probable desarrollar un sistema que pueda clasificar robustamente una muestra de granos de café verde por diámetros mediante el uso de técnicas de procesamiento de imágenes digitales.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Variable independiente

En este trabajo se considera a la medida real de cada muestra como una variable independiente, luego se considera una variable que realiza la conversión de píxeles a milímetros, esta medida origina cambios en la medida obtenida y es controlada mediante un proceso de calibración manual, entonces se considera una variable independiente.

Indicadores

La medida real de cada muestra y nuestra variable de conversión se indican en milímetros.

Índices

La medida de cada muestra (MR) se indica en un rango de $[0, 20]$ y $MR \in \mathbb{Z}$, nuestra variable de conversión (C) se indica en un rango de $[0, \infty)$ donde $C \in \mathbb{R}$

1.6.2. Variable dependiente

Para este trabajo la medida obtenida de diámetro para cada muestra de café será nuestra variable dependiente.

Indicadores

Se considera un buen resultado cuando nuestra medida obtenida de diámetro es igual que la medida real, entonces un indicador es el error que existe entre ambas medidas, entre los posibles indicadores proponemos el uso del Error Mínimo Cuadrático o MSE.

Índices

El error (E) varía en un rango de $[0, +\infty)$ considerando valores próximos a cero como resultados deseados y $E \in \mathbb{R}$.

1.7. Viabilidad de la investigación.

1.7.1. Viabilidad técnica

El presente proyecto es viable técnicamente dado que existen técnicas de procesamiento de imágenes digitales para el análisis de los granos de café, se han investigado diversas técnicas para que se pueda identificar a cada uno de los granos y clasificarlos de acuerdo a las medidas de los diámetros que posee cada uno.

También se cuenta con una cámara para la adquisición de imágenes y un conjunto de muestras evaluadas de granos de café de diferentes tamaños para poder realizar pruebas y evaluaciones del modelo a desarrollarse.

1.7.2. Viabilidad operativa

Para el desarrollo de este proyecto, el autor tiene los conocimientos básicos de las diferentes técnicas que se utilizarán durante todo el desarrollo del proyecto y cuenta con la guía de un experimentado asesor especializado en el análisis de imágenes por visión computacional, quién a su vez ha hecho trabajos relacionados a la calidad de los granos de café.

1.7.3. Viabilidad económica

Este proyecto es viable económicamente porque se tiene los recursos necesarios como una cámara fotográfica, una computadora para procesamiento y muestras de granos de café. Se dispone de las licencias de software necesarias para la integración del modelo computacional y la cámara de adquisición.

1.8. Justificación e importancia de la investigación.

1.8.1. Justificación

En el proceso de control de calidad de granos de café verde, está incluido la clasificación por tamaños en una muestra, este proceso puede llegar a ser muy trabajoso y pesado para las personas dado que deben: primero pesar 100 gramos con una aproximación de 0.1 gramos de error de la muestra, registrar la presencia de materia extraña y granos partidos, seleccionar los tamices a utilizar de acuerdo al tipo de clasificación que se desea, colocando las mallas de menor diámetro en la parte inferior y luego colocar los 100 gramos de la prueba en la parte superior, agitar o programar a la máquina para que agite por el lapso de dos minutos, pesar los granos retenidos en cada malla y repetir todo el proceso por lo menos una vez más. Luego se debe contabilizar y registrar los resultados, la sumatoria de los granos en cada malla más los defectuosos debe ser igual a los 100 gramos iniciales con aproximación a 0.5 gramos, caso contrario, la prueba no será válida y se deberá repetir el proceso con una nueva muestra [21]. Esta etapa del proceso es muy importante, porque una gran cantidad de granos pequeños perjudicarían posteriormente el tueste de los granos grandes y viceversa, provocando que los granos pequeños se tuesten demasiado en el tiempo que requieren tostarse los granos grandes o que los granos grandes no alcanzarán el tueste necesario en el tiempo que requieren los granos pequeños [59]. Es necesario automatizar este proceso buscando disminuir el tiempo requerido para esta tarea, también disminuir la carga de trabajo realizada por el personal permitiéndole enfocarse en tareas de control de calidad más importantes como la catación de café.

1.8.2. Importancia

Como se ha expuesto, todo el proceso de selección de granos de café de calidad está conformado por distintos pasos, de los cuales, el presente trabajo se centra en la clasificación de una muestra de granos de café verde, de acuerdo al tamaño de su diámetro. Para realizar dicha tarea se propone un modelo computacional que se encargará de realizar este paso de forma automática mediante la adquisición y procesamiento de imágenes fotográficas digitales de la muestra de granos de café.

De esta forma se busca tener una mejor precisión en la clasificación de los granos de café en una muestra, por lo que el catador se centrará en el análisis de los datos obtenidos y no en realizar todo el proceso adecuadamente, como se expuso anteriormente, elevando así la precisión de medición de la muestra, por lo que la probabilidad de un tostado uniforme de todos los granos, en los siguientes pasos de todo el proceso, sea más elevada.

1.9. Alcance

Se pretende automatizar la clasificación por diámetro de granos de café verde en una muestra, por medio del desarrollo de un modelo computacional que sea capaz de analizar imágenes digitales de granos de café para según los tamaños clasificarlos.

1.10. Tipo y nivel de la investigación

1.10.1. Tipo de la investigación

Este proyecto pertenece a una investigación de tipo aplicada, ya que se quiere resolver un problema de la vida real mediante el procesamiento de imágenes digitales ya desarrolladas para la resolución de nuestro problema.

1.10.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación de este proyecto es aplicativo, porque se usarán métodos y técnicas de procesamiento de imágenes para la extracción de medidas de los granos de café verde.

1.11. Método y diseño de la investigación

1.11.1. Método de la investigación

El método de investigación de este proyecto es inductivo, debido a que se hará un análisis de los resultados obtenidos a partir de los experimentos de medición que se harán con el sistema propuesto.

1.11.2. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es de nivel exploratoria, ya que a partir del problema planteado, y siguiendo un conjunto de etapas, se usarán algunas técnicas de procesamiento de imágenes digitales para poder alcanzar el objetivo planteado disminuyendo así la carga de trabajo de los catadores.

1.12. Técnicas e instrumentos de recolección de información

1.12.1. Técnicas

.....

1.12.2. Instrumentos

.....

1.13. Cobertura de estudio

1.13.1. Universo

En el proceso de control de calidad el proceso de tamizado se aplica a todos los tipos de granos de café reconocidos por el estándar mundial de control de calidad de granos de café, existen dos especies: arábica y robusta, se plantea trabajar un modelo de clasificación de granos de café por diámetro aplicable a todas las variedades de granos.

1.13.2. Muestra

Para este trabajo se considera el uso de muestras físicamente evaluadas por catadores especializados equivalente a 1 kg, estas muestras fueron clasificadas utilizando zarandas de 13 a 20mm.

1.14. Cronograma y presupuesto

1.14.1. Universo

.....

1.14.2. Muestra

.....

1.15. Estructura del documento

.....

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

.....

2.2. Estado del Arte

Lograr un café de calidad, requiere todo un meticuloso proceso con especial atención en todos los detalles del grano de café, desde la siembra hasta el tostado y molido de este. Por tal motivo ha sido tema de estudio por diferentes especialistas con el fin obtener procesos de calidad de los granos de café enfocándose en sus características físicas y organolépticas.

Por ejemplo, en [6] se hizo una clasificación de las especies de granos de café haciendo uso de procesamiento de imágenes, redes neuronales y K vecinos más cercano, aquí se extrajeron las características más importantes del grano de café, para poder obtener estas características se basaron en la morfología, el área, el perímetro, el porcentaje de redondez y el diámetro equivalente el cual no es el diámetro en el que este trabajo se centra, sino el diámetro de alguna circunferencia con el mismo área equivalente a alguna partícula de cualquier forma, aquí se llega a la conclusión que es recomendable usar técnicas de procesamiento de imágenes para la clasificación de granos de café. En [62] se hizo una evaluación de los defectos físicos de los granos de café verde usando visión artificial para poder definir la calidad de los granos, se implementó un sistema el cual usa un algoritmo que clasifica los granos de café en 13 categorías logrando en 98.8 % de efectividad, un estudio similar se realizó en [9] y [44]. Otra técnica utilizada fue el análisis de imágenes hiper-espectrales, en [39] se hizo un estudio en el que se caracterizó la consistencia de diferentes marcas de granos de café tostado, para lo cual se adquirió imágenes hiper-espectrales de muestras molidas y haciendo un análisis demostraron que se puede utilizar este método para monitorear la consistencia de algún producto de bebida como el café. En [23] se desarrolló un sistema de clasificación basado en un algoritmo que tiene la capacidad de extraer las características de los granos de café Hararghe mediante el análisis de imágenes, se basó en tres características como color, textura y forma, se obtuvo una precisión general de 99.4 %, pero en este estudio solo se usaron 160 imágenes, por lo cual recomiendan realizar el procesos con una mayor cantidad de imágenes, otro trabajo como este se hizo en [25], pero esta vez usando café tostado, el cual exponen que

sus características son diferentes a los granos de café verde. También se hizo una clasificación de acuerdo al color de los granos de café verde en [17], se construyó un sistema que mide el color de los granos de café los cuales se clasificaron en cuatro grupos como blanquecino, verde de caña, y verde azulado, el sistema demostró tener un error de 1.15 % con redes neuronales y un 100 % eficacia con el clasificador bayesiano ambas técnicas utilizadas en el sistema. Otra clasificación de acuerdo al color de los granos de café, pero esta vez tostados, se hizo en [40], donde alcanzó un 97.5 % de precisión al identificar los niveles de tostado de los granos de café. Adicionalmente en [45] se propuso un método no destructivo para poder contar las cerezas de café en las ramas del cafeto por medio de imágenes digitales, construyó un sistema de visión artificial para poder identificar y contar aquellos frutos que eran cosechables y no cosechables, con este sistema se buscó generar nuevas herramientas para los cafetaleros ya que es un sistema de bajo costo y no destructivo.

Para la propuesta, se necesitará medir el diámetro en milímetros haciendo uso solo de imágenes, en los últimos años se han estado haciendo investigaciones al respecto. Por ejemplo, [10] hace una investigación que consiste en medir la forma de partículas distintas basado en imágenes, pero los resultados no los presenta en unidades de medida absolutas, sin embargo, si recomienda tener cuidado si se quiere lograr esto, ya que los tamaños de las formas de las partículas en las imágenes varían según la imagen. En [60] se propone el método del rectángulo de mejor ajuste para la medición del tamaño y forma de partículas, este método es invariante a la rotación y tiene buenos resultados en comparación con las mediciones manuales hechas a las partículas con las cuales concuerdan bien. Por otro lado en [12] se hace uso de un dispositivo de cámara acoplada para lograr la medición de partículas de sedimento de formas irregulares extrayendo el tamaño de los granos mediante la segmentación de las partículas captadas por la cámara, para poder medir las partículas se hace uso del método del área equivalente a un círculo calculando el diámetro de este último, el sistema presentado está limitado por el tamaño mínimo medible que vendría a ser el número de píxeles de la cámara, esto podría ser superado usando una cámara de alta resolución. Luego también en [32] se construyó un sistema fijo para el escaneo y análisis del tamaño de partículas de cualquier forma, este sistema tiene una etapa de calibración en la cual se introduce la relación de píxeles con milímetros con la ayuda de una bola de un tamaño predefinido, este sistema demostró tener una alta precisión en el análisis de tamaño de partículas. Otro trabajo parecido se hizo en [8] donde se propone un método para la medición de partículas utilizando imágenes digitales en tiempo real, para lo cual usaron partículas del proceso de molienda de mineral de cobre, implementaron una cámara fija para la captura de imágenes, pero con diferente dirección del origen de luz de 45 grados para ambos lados. En [2] se propone una técnica usando visión por computadora para poder detectar el etiquetado fraudulento de granos de arroz distintos al tipo Basmati, se utilizó tres características: morfología, color y textura, para la medición morfológica se utilizó la longitud por píxel, aunque no menciona como introduce esta medición en la imagen, obteniendo un 90 % de precisión de clasificación de los granos de arroz fraudulentos. Un trabajo interesante se hizo en [55] en el cual se desarrolló un software para la medición de semillas de arroz, en el cual mencionan, las mediciones son ligeramente más cortas que las realizadas con el calibrador sin precisar cuánto, para obtener la medición en medidas reales se debe ingresar manualmente cual es la relación entre milímetros y píxeles de la imagen introducida. En [22] se hizo una aplicación

móvil que hace una segmentación de las semillas utilizando técnicas de procesamiento de imágenes. Luego en [51], se calcula la variabilidad de la forma de granos de café, se determinó el volumen de los granos de café, lo que podría ayudar en el desarrollo de este trabajo donde se busca clasificar los granos de café por diámetros según las medidas estándar utilizadas en el tamizado de estas.

Existen diversos trabajos basados en el procesamiento de imágenes digitales para el café en general como: el conteo de granos en sus ramas, la clasificación de especies de granos, el monitoreo de la consistencia del café tostado, la extracción de características físicas tanto en granos verdes como en tostados, la clasificación de granos verdes y tostados de acuerdo solo al color, la detección y evaluación de defectos físicos en los granos de café, entre otros. El presente trabajo puede contribuir, como a cualquiera de los ya mencionados, fuertemente a [62] y [44], ya que estos estudios buscan elevar la calidad de los granos de café en la etapa de post cosecha y antes de ser tostados, detectando y clasificando los defectos físicos en los granos de café verde en una muestra y el presente trabajo busca medir los granos de café para tener un conteo porcentual de los tamaños que posee la muestra para poder realizar un tostado adecuado de todo el lote.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Iluminación

En el presente proyecto se realizará un trabajo bajo un ambiente controlado, por lo que se tendrá un manejo de la iluminación del ambiente para la obtención de las imágenes. Generalmente se utilizan dos tipos de iluminación: frontal y trasera o retroiluminación.

Iluminación frontal

Esta iluminación se da cuando la luz es puesta directamente sobre el objeto y en cualquier dirección.

En este caso se puede producir sombras y reflejos, lo cual puede ser perjudicial cuando se quiere detectar la forma de los objetos. A su vez también pueden producir brillos en el objeto, lo que puede afectar la detección de contornos. Por estos motivos se debería usar luz de tipo difusa o luz indirecta.

Iluminación trasera o retroiluminación

En esta iluminación se utiliza una pantalla, la cual es iluminada de manera que se capta la sombra del objeto.

Puede hacerse de dos formas: la primera es colocando el objeto entre los focos y la pantalla (la cámara está atrás de la pantalla) o colocando el objeto entre la cámara y la pantalla (los focos están atrás de la pantalla). En este caso solo se puede reconocer el contorno del objeto, lo que puede ayudar en el pre procesamiento y la segmentación de los objetos, pero se debe tener mucho cuidado con la iluminación, ya que la sombra generada puede ser deformada por la misma luz. [Gonzalez2006]

imágenes?

2.3.2. Representación digital de la imagen

Antes de que en una imagen, de la vida real (imagen continua), se pueda realizar cualquier proceso computacional, esta debe ser representada por una estructura discreta para que pueda ser procesada computacionalmente, como puede ser una matriz bidimensional. Para poder representar una imagen continua, esta debe primero ser discreta, lo cual se obtiene proyectando la imagen continua en una cuadrícula de fotodetectores en la que en cada celda se calcula la intensidad luminosa proyectada en ella, de esta forma se discretiza una imagen continua [FonaCosta2009].

Una imagen digital está representada, matemáticamente, por una matriz f de dimensiones $m \times n$, como se muestra en la figura, donde cada elemento respresenta un elemento imagen o pixel, que da la intensidad de la imagen en ese punto [Gonzalez2006]. Cada pixel se representa con una función bidimensional $f(x, y)$, donde x y y son coordenadas en un plano y cuya amplitud en la coordenada (x, y) , representa el nivel de gris de la imagen en ese punto [Sucar2008] [Sonka2014] [Gonzalez2017].

(imagen gonzales2006 pagina 12 matriz)

2.3.3. Digitalización de imágenes

Para poder digitalizar una imagen, se lleva acabo dos importantes pasos: el muestreo (sampling) y la cuantización (quantization). Mientras mas fino sea el muestreo y la cuantización, mas se aproximara la imagen digital a la real.

Muestreo

Se da la conversión de la señal continua en una representación discreta. Está directamente relacionado con el nivel de detalle que contendrá la imagen digital, es decir la resolución de la imagen. Una imagen continua se digitaliza en puntos de muestreo, los cuales están ordenados en un plano conformado por cuadrículas, estas cuadrículas pueden ser cuadradas o hexagonales, esto depende de los sensores de captación de la señal.

(imagen sonka2014 pagina 15 imagen 2.2)

Cuantización

Es la transición enntre los valores continuos (real) y su equivalente digital. Debe ser lo suficientemente alto para que se puede apreciar mas en detalle el sombreado fino de la imagen. La mayoría de los dispositivos de procesamiento de imágenes digitales utilizan la cuantización en k intervalos iguales. Si se utilizan b bits para expresar los valores del brillo de píxeles, entonces el número de niveles de brillo es $k = 2^b$, comunmente se utilizan 8 bits por pixel por canal (uno para rojo, verde, azul). [Sonka2014]

(imagen sonka2014 pagina 15 imagen 2.3)

2.3.4. Procesamiento digital de imágenes

El procesamiento digital de imágenes se hace por medio de una computadora. Se considera tres tipos de procesos computarizados: proceso de bajo, medio y alto nivel. En el proceso

bajo nivel se hacen operaciones básicas como la reducción de ruido, mejora del contraste y el enfoque de la imagen, se caracteriza porque el resultado de estas operaciones es otra imagen. En el proceso de nivel medio se realizan operaciones como la segmentación, adecuación de la imagen para el procesamiento por computadora y clasificación de objetos, se caracteriza porque el resultado de estas operaciones son atributos, como bordes, contornos y la identidad de objetos, que se extrajeron luego de realizar estas operaciones a la imagen de entrada. En el proceso de nivel alto se da una interpretación a un conjunto de objetos reconocidos en una imagen [Gonzalez2017].

2.3.5. Imágenes en escala de grises

En una imagen en escala de grises, cada pixel está representado por un número entero no negativo. El rango de valores de este número depende del nivel de brillo con el que se cuantizó la imagen, como se mencionó anteriormente, se usan bits para representar este nivel de brillo, por ejemplo 1, 2, 4 o 8 bits, en algunos casos puede ser también 16 bits. Estos valores enteros no negativos van desde 0 a $2^n - 1$, donde n es el número de bits utilizados. Comúnmente se utilizan 8 bits, por lo que por lo general el rango de valores irá de 0 a 255, donde 0 representa el color negro y 255, u otro valor máximo, dependiendo del número de bits utilizados, representa el color blanco, mientras los valores intermedios, representan los niveles de gris [Soille2004].

(imagen Soille2004 pag 19)

2.3.6. Conversión de una imagen en color a una imagen en escala de grises

Las imágenes hoy en día están en escala de colores, estas generalmente usan el espacio de color RGB, el cual es el más popular, en este modelo, cada canal representa uno de los colores primarios como el rojo (R), verde (G) y azul (B), en el que cada canal está representado por un entero no negativo, pero existen otros modelos como HSV y YUV. Por ejemplo, un pixel en una imagen a color puede estar representado de la forma [R, G, B].

El objetivo es llevar este modelo a uno en escala de grises. Por ejemplo, la técnica más básica es obtener un promedio de los tres valores RGB:

$$I = (R + G + B)/3$$

donde I es el nuevo valor en escala de grises y R, G, B son los valores de rojo, verde y azul respectivamente.

Los coeficientes del Comité Nacional de Sistema de Televisión (NTSC), consideran la contribución desigual de los canales de color para la versión RGB a escala de grises por:

$$I = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

esta otra técnica ha sido aceptado como el método más común para la conversión de RGB a escala de grises, aunque, hoy en día existen otros métodos [Guenes2015].

2.3.7. Imágenes binarias

Las imágenes binarias corresponden al tipo de imagen más simple y usada, donde cada pixel de esta imagen está representado por dos únicos posibles valores, comúnmente 0 o 1. Por lo general el primer plano de la imagen está representado por 1 y el fondo por 0, pero también puede ser de forma viceversa. Las imágenes binarias pueden ser de gran ayuda porque los objetos comprendidos en esta pueden ser entendidos como un conjunto de puntos conectados, lo que podría ser de gran ayuda para hacer un análisis morfológico [FonaCosta2009] [Soille2004].

2.3.8. Binarización de una imagen

El proceso de binarización es una operación simple. Consiste en tomar cada pixel y asignarle un valor, ya sea 0 (negro) si es menor o igual a un umbral o 1 (blanco) si es mayor. Matemáticamente se puede representar:

$$S[x, y] = 1 \longleftrightarrow E[x, y] > T$$

$$S[x, y] = 0 \longleftrightarrow E[x, y] \leq T$$

donde T es el valor de umbral, E es la imagen a binarizar y S es la imagen resultante.

Se aplica, como se dijo anteriormente, para poder identificar un objeto de interés del resto de la imagen. Sin embargo, el problema aparece cuando se quiere establecer el umbral, el cual se puede establecer por prueba y error dependiendo de la imagen. Otra forma es usando su histograma de tonos de grises [Sucar2008].

Umbral global óptimo utilizando el método de Otsu

Básicamente hace que las clases (grupos a los que son asignados los píxeles al momento de realizar la binarización) con umbrales adecuados deben ser distintos con respecto a los valores de intensidad de sus píxeles y, a la inversa, que un umbral que dé la mejor separación entre clases en términos de sus valores de intensidad sería el mejor (óptimo) umbral [Gonzalez2017].

2.3.9. OpenCV

realce

Noise in images sonka

Procesamiento de imágenes

El reconocimiento de patrones es una disciplina matemática que se encarga de reconocer patrones en datos o señales. Los métodos de reconocimientos de patrones han sido extensamente utilizados en el análisis de imágenes y visión computacional. Visión computacional se encarga, por medio de sistemas visuales, comprender e interpretar de alguna manera nuestro mundo, incluye temas como la comprensión de escenas, reconocimiento de objetos, interpretación del movimiento, navegación autónoma entre otros. Tiene sus orígenes en la inteligencia artificial. [WilhelmBurger2013]

Capítulo 3

ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA

En la actualidad, ...

3.1. Generalidades.

En el campo ...

3.2. Esquema de la propuesta

El cerebro ...

Capítulo 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la actualidad, ...

4.1. Generalidades.

En el campo ...

4.2. Esquema de la propuesta

El cerebro ...

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros

Finalmente en este capítulo se enuncian las conclusiones del presente trabajo de tesis, así como futuras propuestas de aplicación y mejora de los algoritmos utilizados y propuestos en este trabajo.

Conclusiones

1. Se logró desarrollar un modelo de clasificación de imágenes de resonancia magnética utilizando un enfoque neuroevolutivo formado por una red neuronal MLP y un algoritmo genético.

Trabajos futuros

1. El algoritmo genético encuentra la mejor red y utiliza una red neuronal como cromosoma, como trabajo futuro podríamos utilizar otro algoritmo genético para que encuentre los parámetros de tasa de aprendizaje, momento, valores iniciales de la red neuronal.
- 2.

Apéndice A

Software implementado para el sistema

En este apéndice ...

A.1. Diagramas ...

En esta Sección ...

Aquí agregamos un pdf como un adicional al documento de trabajo de grado

Bibliografía

- [1] G. Ajay, M. Suneel, K. K. Kumar, and P. S. Prasad. Quality evaluation of rice grains using morphological methods, 2013.
- [2] T. Ali, Z. Jhandhir, A. Ahmad, M. Khan, A. A. Khan, and G. S. Choi. Detecting fraudulent labeling of rice samples using computer vision and fuzzy knowledge. *Multimedia Tools and Applications*, 76(23):24675–24704, feb 2017. doi:[10.1007/s11042-017-4472-9](https://doi.org/10.1007/s11042-017-4472-9). 9
- [3] S. Z. Alibeyglu, H. Ghaffari, A. Alipasandi, et al. Estimating surface area of three peach varieties using allometric relationships obtain from project area. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(8):1978–1984, 2013.
- [4] T. Allen. *Particle size measurement (Powder technology series)*. Chapman and Hall, 1981. ISBN 978-0-412-15410-2. URL <https://www.amazon.com/Particle-size-measurement-Powder-technology/dp/0412154102?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=0412154102>.
- [5] G. L. Alvarado, S. H. C. Franco, J. A. C. Salazar, and J. M. V. Carrasco. Estimación de superficie de frutos con modelo geométrico tridimensional y proyección geométrica basados en imágenes digitales. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15(2):119–126, 2014.
- [6] E. R. Arboleda, A. C. Fajardo, and R. P. Medina. Classification of coffee bean species using image processing, artificial neural network and k nearest neighbors. In *2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD)*. IEEE, may 2018. doi:[10.1109/icird.2018.8376326](https://doi.org/10.1109/icird.2018.8376326). 8
- [7] J. S. Aulakh and V. Banga. Grading of rice grains by image processing. In *International Journal of Engineering Research and Technology*, volume 1. ESRSA Publications, 2012.
- [8] S. Budzan and M. Pawełczyk. Grain size determination and classification using adaptive image segmentation with shape information for milling quality evaluation. *Diagnostyka*, 19(1):41–48, mar 2018. doi:[10.29354/diag/80974](https://doi.org/10.29354/diag/80974). 9
- [9] E. Carrillo and A. A. Peñaloza. Artificial vision to assure coffee-excelso beans quality. In *Proceedings of the 2009 Euro American Conference on Telematics and Information Systems New Opportunities to increase Digital Citizenship - EATIS 09*. ACM Press, 2009. doi:[10.1145/1551722.1551757](https://doi.org/10.1145/1551722.1551757). 8
- [10] R. M. Carter and Y. Yan. Measurement of particle shape using digital imaging techniques. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 15, page 177. IOP Publishing, 2005. 9

- [11] A. Castillo, J. Ortegon, J. Vazquez, and J. Rivera. Virtual laboratory for digital image processing. *IEEE Latin America Transactions*, 12(6):1176–1181, sep 2014. doi:[10.1109/tla.2014.6894017](https://doi.org/10.1109/tla.2014.6894017).
- [12] H. CHEN, H. wu TANG, Y. LIU, H. WANG, and G. ping LIU. Measurement of particle size based on digital imaging technique. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 25(2):242–248, apr 2013. doi:[10.1016/s1001-6058\(13\)60359-5](https://doi.org/10.1016/s1001-6058(13)60359-5). 9
- [13] H. S. H. Chitra, S. Suguna, and S. N. Sujatha. A survey on image analysis techniques in agricultural product. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(12), mar 2016. doi:[10.17485/ijst/2016/v9i12/77171](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i12/77171).
- [14] M. Clayton, N. D. Amos, N. H. Banks, and R. H. Morton. Estimation of apple fruit surface area. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 23:345 – 349, 1995.
- [15] M. S. Cleva, G. Sampallo, A. Gonzalez Thomas, and C. Acosta. Método para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz mediante el procesamiento digital de imágenes. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 39(2):185–190, 2013.
- [16] L. da Fona Costa and R. M. C. Jr. *Shape Classification and Analysis: Theory and Practice, Second Edition (Image Processing Series)*. CRC Press, 2009. ISBN 9780849379291. URL <https://www.amazon.com/Shape-Classification-Analysis-Practice-Processing/dp/0849379296?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=0849379296>.
- [17] E. M. de Oliveira, , D. S. Leme, B. H. G. Barbosa, and M. P. Rodarte. A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. *Journal of Food Engineering*, 171:22–27, feb 2016. doi:[10.1016/j.jfoodeng.2015.10.009](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.009). 9
- [18] C. Díaz and M. Willems. Línea de base del sector café en el Perú, 2017. 1
- [19] E. Figueroa, F. Pérez, and L. Godínez. *La producción y el consumo del café*, 2015. 1
- [20] E. Firatligil-Durmus, E. Šárka, and Z. BuBNík. Image vision technology for the characterisation of shape and geometrical properties of two varieties of lentil grown in Turkey. *Czech J. Food Sci. Vol*, 26(2):109–116, 2008.
- [21] N. O. Fúnez. *Protocolo de análisis de calidad de café*, 2010. 1, 5
- [22] K. Gao, T. White, K. Palaniappan, M. Warmund, and F. Bunyak. Museed: A mobile image analysis application for plant seed morphometry. In *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. IEEE, sep 2017. doi:[10.1109/icip.2017.8296798](https://doi.org/10.1109/icip.2017.8296798). 9
- [23] B. Girma, G. Abebe, and G. Goro. Characterization and classification of hararghe coffee (coffea arabica l.) beans using morphological attributes based on classical images. *East African Journal of Sciences*, 7(1):11–16, 2013. 8
- [24] R. C. Gonzalez and R. E. Woods. *Digital Image Processing (3rd Edition)*. Pearson, 2007. ISBN 978-0-13-168728-8. URL <https://www.amazon.com/Digital-Image-Processing-Rafael-Gonzalez/dp/013168728X?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=013168728X>.

- [25] B. Hailu and T. Tegegne. Ethiopian roasted coffee classification using imaging techniques. *International Conference on the Advancement of Science and Technology*, pages 23–29, 2015. 8
- [26] R. Kambo and A. Yerpude. Principal component analysis based classification technique for basmati rice grain analysis. *dimensions*, 1000:1, 2012.
- [27] R. Kambo and A. Yerpude. Classification of basmati rice grain variety using image processing and principal component analysis. *IJAREEIE*, 2:2893 – 2900, 2013.
- [28] M. Khojastehnazhand. Determination of orange volume and surface area using image processing technique. *Int. Agrophysics*, 23:237 – 242, 2009.
- [29] A. Kicherer, R. Roscher, K. Herzog, S. Šimon, W. Förstner, and R. Töpfer. Bat (berry analysis tool): a high-throughput image interpretation tool to acquire the number, diameter, and volume of grapevine berries. *Vitis*, 52(3):129–135, 2013.
- [30] A. B. Koc. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3):366–371, 2007.
- [31] L. Lara. Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (*coffea arabica* l. var. caturra) producido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de nicaragua, 2005. 1
- [32] C.-W. Liao, J.-H. Yu, and Y.-S. Tarng. On-line full scan inspection of particle size and shape using digital image processing. *Particuology*, 8(3):286–292, jun 2010. doi:[10.1016/j.partic.2010.03.015](https://doi.org/10.1016/j.partic.2010.03.015). 9
- [33] W. Liu, Y. Tao, T. Siebenmorgen, and H. Chen. Digital image analysis method for rapid measurement of rice degree of milling 1. *Cereal chemistry*, 75(3):380–385, 1998.
- [34] N. H. Maerz. Technical and computational aspects of the measurement of aggregate shape by digital image analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 18(1):10–18, 2004.
- [35] M. Marcon, K. Mariano, R. A. Braga, C. M. Paglis, M. S. Scalco, and G. W. Horgan. Estimation of total leaf area in perennial plants using image analysis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(1):96–101, 2011.
- [36] G. Marín. *Control de calidad del café*, 2013. 1
- [37] H. G. Merkus. *Particle Size Measurements*. Springer-Verlag GmbH, 2009. ISBN 1402090153. URL https://www.ebook.de/de/product/7682399/henk_g_merkus_particle_size_measurements.html.
- [38] M. Mrutyunjaya, T. Lakshmikanth, T. Raghavendra, and P. N. Praveen. Quality analysis of rice grains using image processing techniques. *International Journal of Combined Research and Development*, 2:16 – 18, 2014.
- [39] C. Nansen, K. Singh, A. Mian, B. J. Allison, and C. W. Simmons. Using hyperspectral imaging to characterize consistency of coffee brands and their respective roasting classes. *Journal of Food Engineering*, 190:34–39, dec 2016. doi:[10.1016/j.jfoodeng.2016.06.010](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.06.010). 8

- [40] T. H. Nasution and U. Andayani. Recognition of roasted coffee bean levels using image processing and neural network. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 180: 012059, mar 2017. doi:[10.1088/1757-899x/180/1/012059](https://doi.org/10.1088/1757-899x/180/1/012059). 9
- [41] M. Omid, M. Khojastehnazhand, and A. Tabatabaeefar. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of Food Engineering*, 100(2):315–321, 2010.
- [42] B. Pan, K. Qian, H. Xie, and A. Asundi. Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review. *Measurement science and technology*, 20(6): 062001, 2009.
- [43] B. B. Prajapati and S. Patel. Algorithmic approach to quality analysis of Indian basmati rice using digital image processing. *IJETAE (ISSN 2250-2459, ISO 90001: 2008certified journal)*, 3(3):503–504, 2013.
- [44] J. RamirezTicona, J. C. Gutierrez-Caceres, and C. E. Portugal-Zambrano. Cell-phone based model for the automatic classification of coffee beans defects using white patch. In *2016 XLII Latin American Computing Conference (CLEI)*. IEEE, oct 2016. doi:[10.1109/clei.2016.7833335](https://doi.org/10.1109/clei.2016.7833335). 8, 10
- [45] P. Ramos, F. Prieto, E. Montoya, and C. Oliveros. Automatic fruit count on coffee branches using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 137:9–22, may 2017. doi:[10.1016/j.compag.2017.03.010](https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.010). 9
- [46] M. Rashidi, M. Gholami, and S. Abbassi. Cantaloupe volume determination through image processing. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11:623–631, 2010.
- [47] E. Rico-Garcia, F. Hernandez-Hernandez, G. M. Soto-Zarazua, G. Herrera-Ruiz, et al. Two new methods for the estimation of leaf area using digital photography. *International journal of agriculture and biology*, 11(4):397–400, 2009.
- [48] H. Sadrnia, A. Rajabipour, A. Jafary, A. Javadi, and Y. Mostofi. Classification and analysis of fruit shapes in long type watermelon using image processing. *Int. J. Agric. Biol*, 1:68–70, 2007.
- [49] Z. Sandoval, F. Prieto, and J. Betancur. Digital image processing for classification of coffee cherries. In *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA), 2010*, pages 417–421. IEEE, 2010.
- [50] L. Severa. Different approaches for coffee bean shape and contour determination. *Journal of food physics*, 23:33 – 40, 2010.
- [51] L. Severa, J. Buchar, and Š. Nedomová. Shape and size variability of roasted arabica coffee beans. *International Journal of Food Properties*, 15(2):426–437, mar 2012. doi:[10.1080/10942912.2010.487967](https://doi.org/10.1080/10942912.2010.487967). 10
- [52] J. Siswantoro, A. S. Prabuwo, and A. Abdulah. Volume measurement of food product with irregular shape using computer vision and Monte Carlo method: A framework. *Procedia Technology*, 11:764–770, 2013.

- [53] P. Soille. *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*. Springer, 2004. ISBN 978-3-642-07696-1. URL <https://www.amazon.com/Morphological-Image-Analysis-Principles-Applications/dp/3642076963?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=3642076963>.
- [54] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. CENGAGE LEARNING, 2014. ISBN 1133593607. URL https://www.ebook.de/de/product/21323846/milan_sonka_vaclav_hlavac_roger_boyle_image_processing_analysis_and_machine_vision.html.
- [55] T. Tanabata, T. Shibaya, K. Hori, K. Ebana, and M. Yano. SmartGrain: High-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *PLANT PHYSIOLOGY*, 160(4):1871–1880, oct 2012. doi:[10.1104/pp.112.205120](https://doi.org/10.1104/pp.112.205120). 9
- [56] P. Tanck and B. Kaushal. A new technique of quality analysis for rice grading for agmark standards. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 3:83 – 85, 2014.
- [57] B. Turi, G. Abebe, and G. Goro. Classification of Ethiopian coffee beans using imaging techniques. *East African Journal of Sciences*, 7(1):1–10, 2013.
- [58] A. Ushma, M. phil Scholar, and A. M. Shanavas. Object detection in image processing using edge detection techniques. *IOSR Journal of Engineering*, 4(3):10–13, 2014.
- [59] H. J. van Hilten. *Guía del Exportador de Café*. Centro de Comercio Internacional 2011, 1202 Ginebra, Suiza, 2011. 5
- [60] W. Wang. Image analysis of particles by modified ferret method — best-fit rectangle. *Powder Technology*, 165(1):1–10, jun 2006. doi:[10.1016/j.powtec.2006.03.017](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2006.03.017). 9
- [61] M. J. B. Wilhelm Burger. *Digital Image Processing*. Springer-Verlag GmbH, 2016. ISBN 1447166833. URL https://www.ebook.de/de/product/23646308/wilhelm_burger_mark_j_burge_digital_image_processing.html.
- [62] C. E. P. Zambrano, J. C. G. Caceres, J. R. Ticona, and C. A. B. Castanon. Computer vision grading system for physical quality evaluation of green coffee beans. In *2016 XLII Latin American Computing Conference (CLEI)*. IEEE, oct 2016. doi:[10.1109/clei.2016.7833383](https://doi.org/10.1109/clei.2016.7833383). 8, 10