
Diseño de un sistema que determine el estado de madurez del Mango de Hilacha (Magdalena River), Usando Visión Artificial por Computador

José Alberto Pérez Narváez

Caren Medina Arcia

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería de Sistemas
Sincelejo
2017

Diseño de un sistema que determine el estado de madurez del Mango de Hilacha (Magdalena River), Usando Visión Artificial por Computador

José Alberto Pérez Narváez

Caren Medina Arcia

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero de Sistemas

Director

Jhonatan Andrés Rodríguez Manrique

Codirector

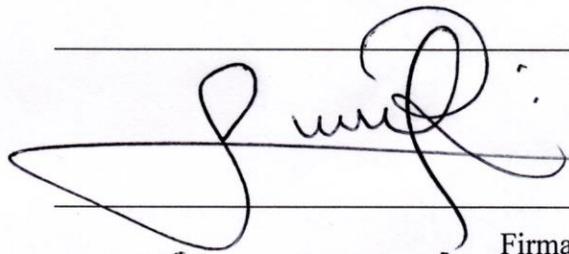
Guillermo Carlos Hernández Hernández

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería de Sistemas
Sincelejo
2017

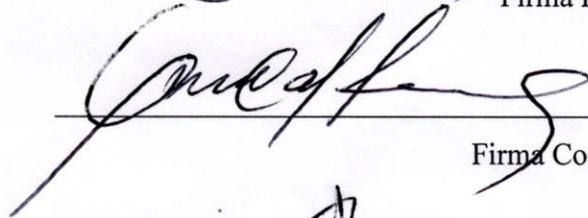
Nota de Aceptación

José Pérez 4.2

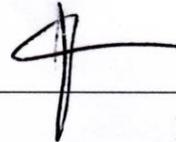
Caren Medina 4.0



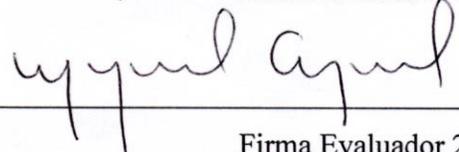
Firma Director



Firma Codirector



Firma Evaluador 1



Firma Evaluador 2

Agradecimientos

Al Ingeniero Jhonatan Andrés Rodríguez Manrique por su paciencia, empeño y perseverancia en el desarrollo de este proyecto, por apoyarnos en las buenas y en las malas y por creer que este proyecto era posible.

A nuestras Familias por siempre estar presentes incondicionalmente para apoyarnos durante esta travesía.

A todos nuestros maestros por hacer parte de nuestra formación y brindarnos sabiduría.

A los compañeros de Prespik Solutions y toda la comunidad de OpenCV por aportar conocimiento, guía y apoyo moral en todo momento.

A todos los que pensaron que no se podía, por darnos más razones para culminar esta etapa y demostrarles que si era posible.

Y a todos aquellos que de una u otra forma hicieron parte de este proyecto.

Tabla de Contenido

Introducción.....	14
1. Planteamiento del Problema	16
2. Justificación	19
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo General	20
3.2 Objetivos Específicos.....	20
4. Antecedentes.....	21
5. Marco Conceptual.....	23
5.1 Mango	23
5.2 Visión.....	25
5.2.1 Visión Artificial.....	26
5.2.2 Etapas de un Sistema de Visión Artificial.....	27
5.3 Espacios de Color	27
5.3.1 Modelo RGB.	28
5.3.2 Modelo HSV.	29
5.4 Herramientas de Software.....	30
5.4.1 Python.....	31
5.4.2 OpenCV.....	32
5.4.3 MySQL.....	34
5.5 Arduino	35
5.5.1 Arduino UNO.....	36
5.5.2 Comunicación serial.....	36
5.5.3 Entradas y Salidas digitales.....	36
5.6 Desarrollo Ágil - Metodología (Xp)	37

6. Metodología	38
6.1 Establecer cotas de comparación para los diferentes estados de madurez del mango, tomando como base los parámetros establecidos en la Norma NTC 5139 para usarlos como estados comparativos en el software.	38
6.2 Seleccionar un hardware de captura de imágenes para el sistema, mediante el uso de una Tabla ponderativa, para determinar cuál es la mejor opción a usar.	40
6.3 Diseñar un prototipo de hardware a escala que haga uso del hardware de captura escogido, para demostrar el funcionamiento del sistema.	40
6.4 Desarrollar un software que haga uso de técnicas de procesamiento de imágenes para el tratamiento de los datos capturados por el prototipo.	42
6.5 Validar los resultados arrojados por el sistema mediante pruebas estadísticas para comprobar el porcentaje de efectividad del sistema.	42
7. Resultados y Análisis	44
7.1 Establecer cotas de comparación para los diferentes estados de madurez del mango.	44
7.2 Seleccionar un hardware de captura de imágenes para el sistema.	47
7.3 Diseñar un prototipo de hardware que demostrar el funcionamiento del sistema.	49
7.4 Desarrollar un software que haga uso de técnicas de procesamiento de imágenes.	55
7.4.1 Análisis de Requisitos y Artefactos de Software.	55
7.4.1.1 Programación Extrema, Historias de Usuario.	55
7.4.1.2 Requerimientos Funcionales.	58
7.4.1.3 Diagrama de Casos de Uso.	60
7.4.1.4 Casos de Uso.	61
7.4.1.5 Diagrama de Actividad.	66
7.4.1.6 Diagrama de Distribución.	67
7.4.2 Modelo Relacional.	68
7.4.3 Interfaces Graficas de Usuario.	69
7.4.4 Código Fuente, Prototipo placa Electrónica.	71
7.5 Validar los resultados arrojados por el sistema.	74

8. Conclusiones	77
9. Recomendaciones	79
Referencias Bibliográficas	80

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Producción mundial de mango año 2013 (FAO2013)	16
<i>Figura 2.</i> Rendimiento departamental en ton/has entre 2012 y 2013 (Agronet)	17
<i>Figura 3.</i> Mango	23
<i>Figura 4.</i> Variedades de Mangos	24
<i>Figura 5.</i> Percepción Visual.....	25
<i>Figura 6.</i> Visión Artificial en la Detección e Interpretación de Objetos	26
<i>Figura 7.</i> Diagrama de Etapas de un Sistema de Visión Artificial.	27
<i>Figura 9.</i> Comparación de diversos modelos RGB en un Espacio de color	28
<i>Figura 10.</i> Modelo RGB Mapeado en Cubo.....	29
<i>Figura 11.</i> Modelo HSV/HSI Cono	30
<i>Figura 12.</i> Python Powered	32
<i>Figura 13.</i> Resumen Funciones de OpenCV	33
<i>Figura 14.</i> Aplicación Biométrica e Inspección Industrial	34
<i>Figura 15.</i> Estructura de una Tabla en MySQL.....	34
<i>Figura 16.</i> Arduino Open-Source Community	35
<i>Figura 17.</i> Arduino Familia de Placas	35
<i>Figura 18.</i> Placa Arduino Uno.....	36
<i>Figura 19.</i> Tabla de color Mango de Hilacha (NTC 5139)	39
<i>Figura 20.</i> Componentes de un Sistema de Visión Artificial	41
<i>Figura 21.</i> Diagrama Sistema de Visión Artificial	41
<i>Figura 22.</i> Esquema de un Sistema de Visión Artificial.....	42
<i>Figura 23.</i> Funcionamiento de las Cotas	44
<i>Figura 24.</i> Muestras de cada Estado de Color (NTC 5139).....	45
<i>Figura 25.</i> Base de Datos Estados de Color.....	47
<i>Figura 26.</i> Medidas de la Caja.....	49
<i>Figura 27.</i> Vista Frontal de la Caja.....	50
<i>Figura 28.</i> Vista Superior de la Caja.....	50

<i>Figura 29.</i> Caja Forrada y Lacada	51
<i>Figura 30.</i> Base de la Caja	51
<i>Figura 31.</i> Diagrama Fritzing (SPM) de la placa de actuadores.....	52
<i>Figura 32.</i> Diagrama Electrónico de la placa de actuadores.....	52
<i>Figura 33.</i> Prototipo Físico de la placa Electrónica.....	53
<i>Figura 34.</i> Tira LED Luz Blanca	54
<i>Figura 35.</i> Prototipo de Hardware Completo.....	54
<i>Figura 36.</i> Diagrama de Casos de Uso Aplicativo de Reconocimiento.....	60
<i>Figura 37.</i> Diagrama de Casos de Uso Aplicativo de Reportes.....	61
<i>Figura 38.</i> Diagrama de Actividad Aplicativo de Reconocimiento.....	66
<i>Figura 39.</i> Diagrama de Actividad Aplicativo de Reportes.....	67
<i>Figura 40.</i> Diagrama de Distribución	67
<i>Figura 41.</i> Diagrama Modelo Relacional	68
<i>Figura 42.</i> Interface Principal de la Aplicación	69
<i>Figura 43.</i> Ventanas de Inspección de Pasos	70
<i>Figura 44.</i> Archivo de configuración en texto plano	71
<i>Figura 45.</i> Muestras de Mangos en diferentes estados de Maduración	76

Lista de Tablas

Tabla 1: <i>Características del mango de hilacha</i>	39
Tabla 2: <i>Matriz de ponderación para selección del dispositivo de captura</i>	40
Tabla 3: <i>Formato de Pruebas Comparativas</i>	43
Tabla 4: <i>Valores HSV y RGB extraídos de las muestras de color</i>	45
Tabla 5: <i>Cotas de Aceptación RGB y HSV extraídos de las muestras de color</i>	46
Tabla 6: <i>Matriz de ponderación del dispositivo de captura seleccionado</i>	48
Tabla 7: <i>Historia de Usuario N°001: Extracción de Patrones y Cotas</i>	56
Tabla 8: <i>Historia de Usuario N°002: Feeds (Apéndice A) Disponibles</i>	56
Tabla 9: <i>Historia de Usuario N°003: Interfaces Graficas</i>	57
Tabla 10: <i>Historia de Usuario N°004: Reportes</i>	57
Tabla 11: <i>Historia de Usuario N°005: Actuadores y Electrónica</i>	58
Tabla 12: <i>Tabla de Requerimientos</i>	58
Tabla 13: <i>Caso de uso: Iniciar Proceso</i>	61
Tabla 14: <i>Caso de uso: Procesar Feed</i>	62
Tabla 15: <i>Caso de uso: Generar Base de Conocimiento</i>	62
Tabla 16: <i>Caso de uso: Generar Vista del Proceso</i>	63
Tabla 17: <i>Caso de uso: Almacenar Datos Históricos</i>	63
Tabla 18: <i>Caso de uso: Accionar Electrónica</i>	64
Tabla 19: <i>Caso de uso: Aplicar Filtro por Fecha o Estado</i>	64
Tabla 20: <i>Caso de uso: Generar Reporte</i>	65
Tabla 21: <i>Caso de uso: Exportar PDF</i>	65
Tabla 22: <i>Resultados Comparación Manual vs Software</i>	74
Tabla 23: <i>Resultados de probabilidad de error del software frente a los estados de madurez seleccionados</i>	75
Tabla 24: <i>Resultados Comparación Manual Vs Software (Completo)</i>	86

Lista de Apéndices

Apéndice A	Glosario	83
Apéndice B	Resultados de las Pruebas	86

Resumen

El mango de hilacha es una fruta ampliamente utilizada en Colombia, con alto contenido nutricional y gran importancia económica, sobre todo en la región Caribe donde su cultivo se muestra como una actividad agrícola que tiene potencial de explotación, que se ve mermado por la falta de tecnificación en el proceso de selección y clasificación de los frutos en la post-cosecha. Se desarrolló una investigación de tipo experimental, con el fin de diseñar un sistema capaz de determinar el estado de madurez del mango de hilacha utilizando visión artificial. Para este propósito, se determinaron una serie de parámetros comparativos de color basados en la norma NTC 5139 (Frutas Frescas Mangos Criollos). Una matriz de ponderación fue la herramienta usada para determinar que hardware sería el más óptimo para realizar la captura de las imágenes, obteniendo como resultado que los dispositivos tipo CCD o compatibles con BLS son la mejor opción. Luego, se procedió a diseñar un prototipo de hardware que permitiera demostrar el funcionamiento del sistema y la capacidad de escalabilidad del mismo. Para poner en funcionamiento el prototipo, se desarrolló un software con la capacidad de determinar el estado de madurez del Mango de Hilacha, inspeccionando el color de la cáscara de la fruta por medio de técnicas de procesamiento de imágenes.

Al finalizar el proyecto, se llegó a la conclusión de que si es posible desarrollar un sistema de visión artificial capaz de determinar el estado de madurez del mango de hilacha (*Magdalena River*) con un grado de confiabilidad del 95%.

Palabras Clave: Procesamiento de Imágenes, Mango de Hilacha, Visión por Artificial, Estado de Madurez, Color.

Abstract

The “Mango de Hilacha” is a fruit widely used in Colombia, with high nutritional content and great economic importance, especially in the Caribbean region where its crop is seen as an agricultural activity that has exploitation potential, only diminished by the lack of technification in the selection and classification procedures of the fruits in the post-harvest. An experimental type research was developed in order to design a system capable of determining the maturity status of the mango fruit using artificial vision techniques. For this purpose, a series of comparative color parameters were determined based on the standardized criteria NTC 5139 (“Frutas Frescas Mangos Criollos”). A weighting matrix was the tool used to determine which hardware would be the most optimal for capturing images, resulting in CCD or BLS compatible devices being the best option. Then, a hardware prototype was designed to demonstrate the system's performance and scalability. To implement the prototype, software was developed with the ability to determine the ripeness stage of the Mango, inspecting the color of the fruit skin through image processing techniques.

To the end of the project, it is arrived to the conclusion of that it is possible to develop a system of artificial vision capable of determining the state of maturity of the mango of Lint (*Magdalena River*) with a grade of reliability of 95%.

Keywords: Image Processing, Mango, Artificial Vision, Ripeness, Visual Spectrum, Color.

Introducción

El mango es una fruta tropical, usada para consumo humano, en su estado fresco se caracteriza por su alto contenido en vitaminas A, B, C, proteínas y fibra. Además, puede usarse como fruta procesada en pulpa, jugos y sodas (Rieger et al. 2006). Es una fruta generalmente dulce, aunque el sabor y la textura varían mucho dependiendo de la variedad, desde una pulpa carnosa hasta una altamente fibrosa, siendo esta última la más común producida en Colombia, conocida como Mango de Hilacha (*Magdalena River*) (CCI et al. 1998), en este sentido, algunos aspectos relacionados con la maduración pueden atribuirse a prácticas inadecuadas de manejo y manipulación, lo cual influye en los resultados obtenidos en los posteriores procesamientos y actividades de almacenamiento, traducido a pérdidas económicas en la industria. (Ciro et al. 2008).

Al interior de un lote de producción de fruta, es posible no tener estados de madurez homogéneos en el punto de recolección, por lo que determinar el estado de maduración en el que se encuentra cada fruta es fundamental cuando se piensa en un proceso de clasificación, lo cual tiene incidencia en posteriores procesamientos, el objetivo de ello es evitar pérdidas por sobre maduración o la pérdida parcial o completa del lote por contaminación propagada (Burdon, J et al. 1996). Para este propósito, existen diversas herramientas y técnicas de verificación (Broshnan, T. et al. 2002), entre ellas, una que destaca, por ofrecer un método objetivo, rápido, no destructivo, escalable y efectivo en costos, es la visión artificial (Da-Wen Sun, et al. 2011).

La Visión por Computador, es un área en desarrollo constante dentro de la informática, la cual ha presentado un crecimiento acelerado en las últimas décadas (Szeliski, R. et al. 2010), El potencial de aplicación de las técnicas para el procesamiento de imágenes en la agroindustria ha sido contemplado desde hace tiempo (Tillet et al. 1990), este fenómeno surge por las capacidad computacional de la tecnología, así como las diversas aplicaciones que se le puede dar (Boothroyd et al. 2005). Los sistemas de visión artificial como sensores para la automatización de procesos han sido utilizados desde la década de los 90's y gracias a su efectividad se han

convertido en elementos de uso frecuente, con ello su mejoramiento tecnológico ha sido notorio con el pasar del tiempo, las aplicaciones de esta tecnología en la agroindustria se han orientado a la identificación de distintos tipos de granos (Habtmu et al. 2008), así como la identificación de las etapas de maduración de la piña (Silva & Lizcano et al. 2011), la clasificación los granos de trigo y cebada (Hernández & Gil et al. 2011), la caracterización del café cereza (Niño & Ortiz et al. 2007).

El objetivo de este proyecto consiste en desarrollar un sistema capaz de identificar el estado de madurez del Mango de Hilacha (*Magdalena River*) en base a patrones de color, basados en una tabla comparativa ofrecida dentro de la norma NTC 5139 del ICONTEC, para determinar el estado de maduración de la fruta y estimar el tiempo de vida útil de la misma.

1. Planteamiento del Problema

El mango es una fruta de carácter climatérico, que puede ser producida en países con características tropicales. A nivel producción internacional, Según la FAO (2013), la India es el primer productor mundial de mango, con más de 16 millones de toneladas al año. En América, México presenta un crecimiento acelerado (Puesto 6, con 1.6 millones de toneladas), Brasil (Puesto 8, con 1.2 millones) y Colombia se encuentra en el puesto 20, con 270.826 mil toneladas. En cuanto a la participación en la producción mundial, India participa en 42.3%, seguida por China (11.3%), Tailandia (6.6%), Paquistán (4.6%), México (4.2%), Indonesia (3.4%), Colombia se encuentra más abajo en la escala con (0.62%) (Ver figura 1).



Figura 1. Producción mundial de mango año 2013 (FAO2013)

A nivel departamental, y según datos ofrecidos por Agronet (2013). En Colombia, el mayor productor de mango es Cundinamarca (90 mil toneladas), le sigue Tolima (86 mil toneladas), luego se encuentra Magdalena (24 mil) y Sucre se ubica en el puesto 17 con 235 toneladas, en este último, se evidencia un crecimiento en el rendimiento entre el año 2012 y 2013

como lo muestra el la figura 2, lo que permite inferir que a nivel nacional existe disponibilidad de materia prima referente a producción de mango para diferentes sectores de la industria alimentaria.

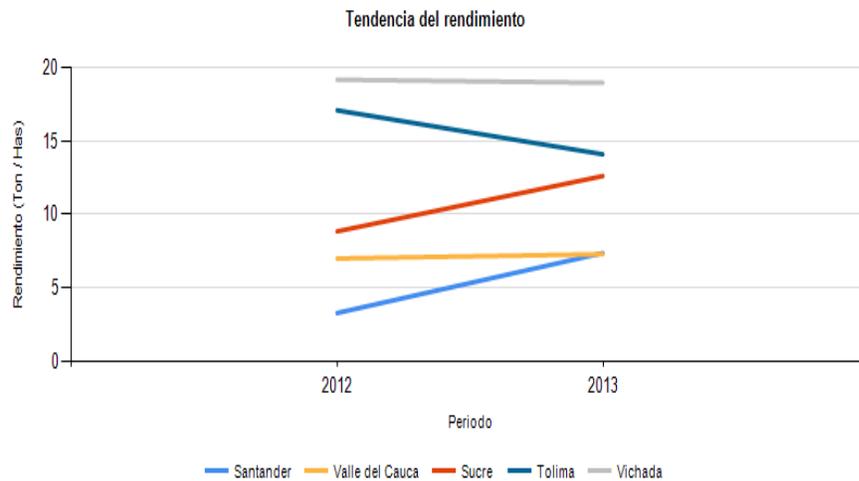


Figura 2. Rendimiento departamental en ton/has entre 2012 y 2013 (Agronet)

Por otro lado, Colombia por su favorable geo-posicionamiento y condiciones ecuatoriales estables, cuenta con todas las condiciones para la producción masificada del mango (Castro & Salazar et al. 2011), por lo cual, incrementar la producción potencializa la incursión en este mercado. En contraste, se hace necesario recalcar, que en Colombia actualmente se presentan estadísticas de pérdidas post-cosecha entre 10% y 80% en las agro-cadenas de frutas y verduras, lo cual es atribuido al efecto de plagas, condiciones de sobre-maduración por clasificación inadecuada, manejos logísticos inapropiados y uso inadecuado de prácticas post-cosecha (Torres, R et al. 2012).

En este contexto, las prácticas inadecuadas de manejo, almacenamiento y clasificación de la fruta (mango) en la post-cosecha, así como la sobre-maduración, son factores determinantes en la pérdida parcial o completa de un lote de fruta, debido a que si los procedimientos antes mencionados no se llevan a cabo adecuadamente tienden a generar mezclas con diferentes estados de madurez, lo cual es perjudicial para las actividades posteriores de transporte y

almacenamiento (Burdon, J et al. 1996). Dentro de los procesos de senescencia, se debe recalcar que una fruta con un estado de sobre-maduración posee metabolismos de respiración que generan altos niveles de emisión de etileno, efecto que acelera la maduración de las demás frutas en el lote (Kader & Mitchman, et al. 2008), provocando, que los pronósticos estimados de vida útil sean sesgados y no sea posible predecir con exactitud el tiempo que queda de utilidad de un lote y no puedan llevarse a cabo las tareas de almacenamiento, procesamiento o comercialización total del lote de la forma como cada productor planea.

Del anterior panorama se plantea el siguiente interrogante. ¿Cómo se puede desarrollar un sistema de visión artificial para la determinación del estado de madurez del mango de hilacha (*Magdalena river*), que permita disminuir las pérdidas post-cosecha?

2. Justificación

El mango reúne las condiciones necesarias para convertirse en una verdadera oportunidad de negocio para el país (Castro & Salazar et al. 2011), oportunidad que debe aprovecharse, que a falta de las herramientas correctas no se explota de la forma en que debería puesto a que en el sector frutícola nacional se dan grandes pérdidas, a causa de la manipulación inadecuada de la materia prima, o por la clasificación inadecuada de la misma. Dentro de la presente investigación se pretende contribuir con la solución de dicho problema a través del uso de herramientas tecnológicas.

Desde el punto de vista investigativo, este trabajo pretende dar solución a una problemática que afecta directamente al sector frutícola de toda Colombia, especialmente la región Caribe, sentando un precedente teórico, técnico y metodológico sobre conocimiento de la tecnología de visión artificial y su aplicación en la agroindustria. Desde el punto de vista académico esta investigación sirve como un referente bibliográfico y de aplicación de conocimientos, los cuales se verán materializados en la implementación de un sistema capaz de determinar el estado de maduración del mango hilacha.

El desarrollo de este sistema, ofrece una herramienta que permite agilizar el proceso de selección del mango en la post-cosecha en base a su estado de madurez, esta herramienta mejorará la eficiencia del proceso, permitiendo el pleno aprovechamiento de la fruta, que se reflejará en minimizar las pérdidas de la materia prima; así mismo, contribuir a mejoras en el proceso de producción, ayudará a reducir pérdidas por sobre-maduración y abrirá nuevas puertas para los pequeños y medianos productores, quienes actualmente no tienen acceso a tecnologías de este tipo, lo cual, se traduce en el fortalecimiento del sector frutícola, la constitución de este como un atractivo para la inversión y en la generación de empleos directos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema que permita determinar el estado de madurez del mango de hilacha (*Magdalena river*) mediante técnicas de visión artificial por computador y comparación cromática para aportar al manejo post-cosecha de la fruta.

3.2 Objetivos Específicos

- Establecer cotas de comparación para los diferentes estados de madurez del mango, tomando como base los parámetros establecidos en la Norma NTC 5139 para usarlos como estados comparativos en el software.
- Seleccionar un hardware de captura de imágenes para el sistema, mediante el uso de una Tabla ponderativa, para determinar la mejor opción a utilizar.
- Diseñar un prototipo de hardware a escala que haga uso del hardware de captura escogido, para demostrar el funcionamiento del sistema.
- Desarrollar un software que haga uso de técnicas de procesamiento de imágenes mediante la metodología de desarrollo ágil XP para el tratamiento de los datos capturados por el prototipo.
- Validar los resultados arrojados por el sistema mediante pruebas estadísticas de comparación para comprobar el porcentaje de efectividad del sistema.

4. Antecedentes

En la industria alimentaria, se ha presentado un incremento notorio en el uso de tecnologías en el proceso de selección de frutas en la post-cosecha, donde predominan métodos no destructivos que hacen uso de la visión artificial, aplicados a frutas como la fresa, manzana, uchuva, frutos de café, dátiles, entre otros (Deshpande & Cheryan, et al 1984). Estas tecnologías ofrecen facilidades propias de los sistemas controlados por computador, como automatización, control del proceso y reducción costos en mano de obra; Aunque la aplicación e implementación de estas tecnologías se encuentran sujeta a la inversión que implica, así como a una adecuada formación técnica del personal que la implementa, y diversas situaciones concernientes a la falta de estandarización en cuanto a los materiales y el proceso de implementación de estas tecnologías, dificulta su aplicación para las pymes. Sin embargo, las empresas que siempre buscan innovar, ser más competitivas y más eficientes en sus procesos, se preparan para el cambio que implica implementar estas tecnologías (Castells P. E. et al. 2004).

Los sistemas de visión artificial buscan simular el procedimiento que realiza la visión humana al realizar una inspección, ya que generan una percepción adecuada del objetivo y ofrecen información extra que se usa para procesamientos posteriores que simulan el análisis hecho por el cerebro, para ofrecer un juzgamiento sobre parámetros establecidos, pero con una mayor eficiencia respecto a métodos tradicionales; remontándose a los años 70's aparecen por primera vez, algoritmos de programación que identificaban las diferentes características del trigo (Zheng et al. 2011) (Mirzaei & Saraee, et al. 2007).

Siguiendo con el tema, en diversos países se están realizando implementaciones de sistemas de visión artificial, como método para optimizar el proceso de recolección y selección de frutos. Teniendo en cuenta la investigación realizada por Silva y Lizcano (2011), se puede inferir, que los métodos de clasificación por visión artificial no son aplicables únicamente a frutos del tipo baya, como el café o los dátiles, sino también a cualquier otro tipo de fruta que muestre variaciones visuales durante el proceso de maduración.

Aplicando este concepto, en la Universidad de Nueva Gales del Sur se realizó un algoritmo de visión para la detección de manzanas en una sola imagen, donde se utilizó la característica de color del enrojecimiento de las manzanas para diferenciarlas del resto de los frutos. Además, se le agregó un sistema de detección de bordes y textura, usando filtros laplacianos para facilitar la identificación. (Zhao, J., Tow, J, Et al. 2005).

Considerando el uso de estos filtros, investigadores de la Universidad de la Florida lograron desarrollar un algoritmo de visión artificial que concierne la segmentación y el análisis de forma adaptativa para detectar naranjas, este algoritmo reside de segmentación, etiquetado de la región, extracción de perímetro, filtrado de tamaño y detección basado en el perímetro de la fruta, también detecta frutas que se encuentran en grupos mediante el uso de técnicas de análisis de forma. Este algoritmo tiene la capacidad de detectar las frutas en diversos entornos cambiantes y diferentes condiciones de ambiente (Hannan, M. W., Burks, T. F., Et al 2010).

Si se evalúa la aplicabilidad de la visión artificial por fuera del sector agrícola, se puede encontrar aplicación incluso en la detección de huesos en filetes de pescado, donde por medio de imágenes de rayos x se puede filtrar la forma de las espinas y determinar si el filete es o no apto para ser usado, igualmente existen aplicaciones mucho más relacionadas al ámbito particular del desarrollo de este proyecto, como el estudio realizado al Kiwi en Wenzhou Medical College, donde la clasificación fue realizada en base al Color y la Forma (Zheng, et al. 2011), o el estudio realizado por Riquelme Torres (2008), donde usaron la caracterización de un conjunto de imágenes para establecer referencias fiables para inspeccionar aceitunas de acuerdo a sus daños externos y el color logrando clasificar 8 categorías definidas por la industria. Sin embargo, el rendimiento de esta técnica depende del algoritmo utilizado, las condiciones ambientales, la posición de la fruta, la calidad, calibración del equipo utilizado, entre otros factores atenuantes que determinan el resultado y en gran medida la efectividad del sistema (Riquelme Torres, et al. 2011).

5. Marco Conceptual

5.1 Mango

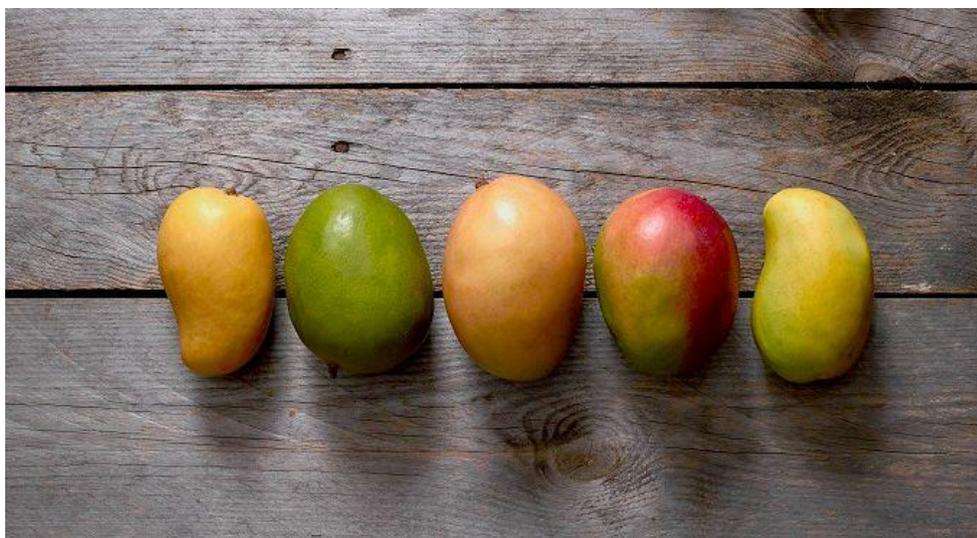


Figura 3. Mango

El mango es uno de los árboles frutales más conocido y cultivado no sólo en nuestro país sino en todas las regiones cálidas del mundo, quizás es uno de los pocos frutos llamado por el mismo nombre en todas partes del mundo: mango (*Mangifera indica*).

Originario de la India, donde es cultivado desde tiempos muy remotos, aparece como una de las frutas más importantes en las ceremonias religiosas de ese país, y una poesía atribuye a Akbar, que reinó en el siglo XVI, una plantación de cien mil árboles de mangos

La India es el productor y exportador más grande de mangos en el planeta, pues produce 15 millones de toneladas de mangos anuales que representan 52 por ciento de la venta en el mundo.

Se cree que los portugueses en el siglo XVI llevaron el mango a Brasil, de donde se extendió a la América tropical; otros opinan que fueron los españoles quienes lo trasladaron de Filipinas a México.

Entre las variedades, Henri Pittier destaca los siguientes nombres: mango verde de hilacha, grande de hilacha, de bocado, mango jobo, mango piña, manga de hilacha, de bocado y de agua, entre otras.

VARIETADES DE MANGOS

KENT



HADEN



TOMMY ATKINS



KEITT



ATAULFO



CRIOLLO



Figura 4. Variedades de Mangos

Fuente: Marina Chico. Selección y empaque de frutas de exportación.

El mango se propaga generalmente por semilla, la cual es muy delicada y pierde su poder germinativo al mes de ser extraída del fruto. Para plantaciones comerciales se cultiva por injerto.

La fruta generalmente tiene forma ovoide-oblonga y su peso varía entre 150 y 2000 gramos; la cáscara es gruesa y puede ser de color verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta.

La pulpa, jugosa y sabrosa, es de color amarillo o anaranjado. El sabor a trementina es una característica de esta fruta, pero en algunas variedades es casi imperceptible.

El mango contiene un alto porcentaje de azúcares, algunas proteínas y gran cantidad de vitaminas C, A, niacina, B y B2, hierro, fósforo y calcio.

5.2 Visión

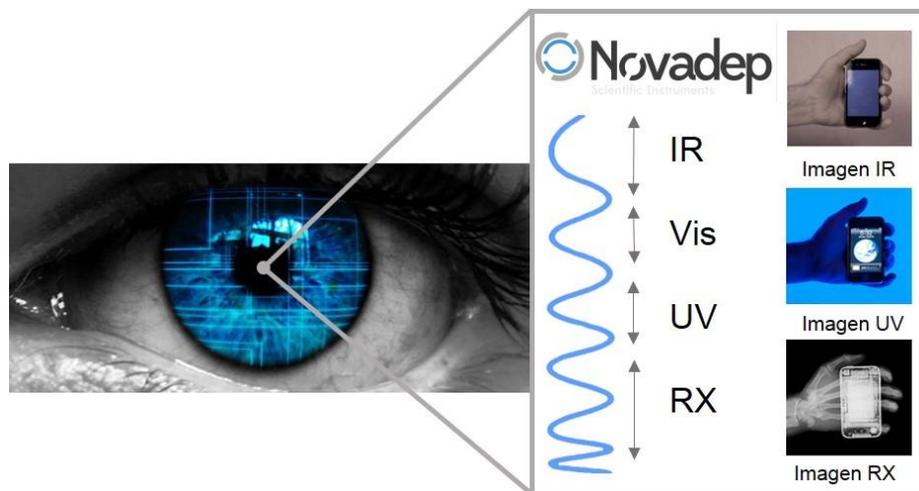


Figura 5. Percepción Visual

Fuente: <http://www.novadep.com/es/machine-vision/>

La visión se reconoce como la capacidad que tiene el órgano ocular de captar señales lumínicas que se transmiten en forma de onda con una amplitud y una longitud determinada y convertirla en señales neuronales que el cerebro interpreta como imágenes representativas de objeto que emite o refleja la onda lumínica, este proceso es conocido como percepción visual y se divide en percepción acromática (se orienta a la percepción del brillo y contraste de los objetos) y percepción cromática (que es la percepción de colores basados en la longitud de la onda incidente).

5.2.1 Visión Artificial.

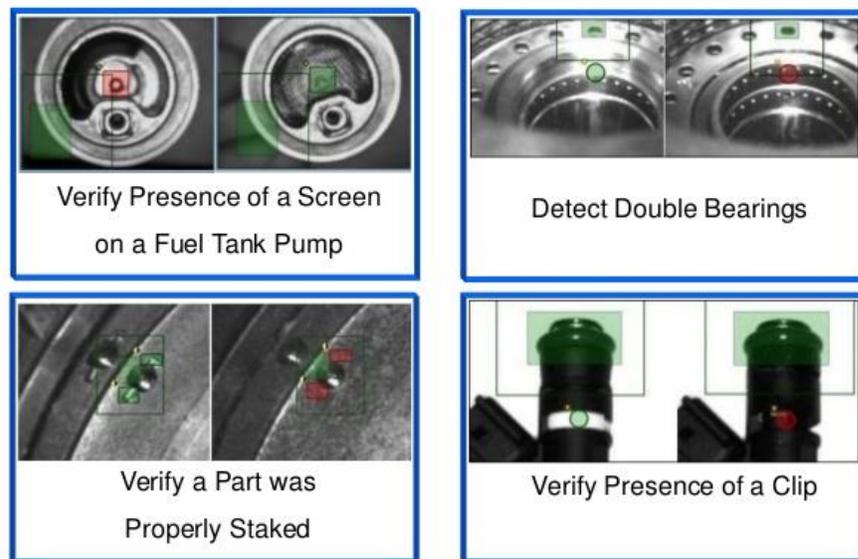


Figura 6. Visión Artificial en la Detección e Interpretación de Objetos

Fuente: BCNVISION. Desarrollos de visión artificial 2D y 3D para la industria.

La “Visión Artificial” se reconoce como un campo de la “Inteligencia Artificial”, que ofrece herramientas y lineamientos que permiten extraer información “visual” a partir de imágenes de objetos y reconocer tamaños, formas, superficies o colores a través de una representación digital (Estática o en Movimiento) de los mismos.

La visión artificial puede ser usada en diversos ámbitos y para diversas actividades, como por ejemplo:

- Automatizar acciones repetitivas que debe realizar un operario al momento de hacer una inspección.
- Verificar y Realizar controles de calidad de piezas y productos a los que no era posible verificar con métodos de inspección manual.
- Reducir el tiempo de inspección y verificación de procesos automáticos.
- Realizar inspecciones sin contacto físico con el objeto.
- Inspeccionar con total certeza en líneas de producción, donde existen diversidad de piezas.

5.2.2 Etapas de un Sistema de Visión Artificial.

Las etapas identificadas para desarrollar un sistema de visión artificial son las siguientes:

1. Adquisición de la imagen digital a procesar desde un feed de video o una imagen estática.
2. Tratamiento digital de la imagen, aquí se aplican filtros, eliminadores de ruido, afianzadores de rasgos.
3. Segmentación de la imagen, donde se aíslan los elementos a procesar de la escena.
4. Reconocimiento o clasificación. Es donde se determinan los objetos segmentados, por medio del análisis de características preestablecidas.

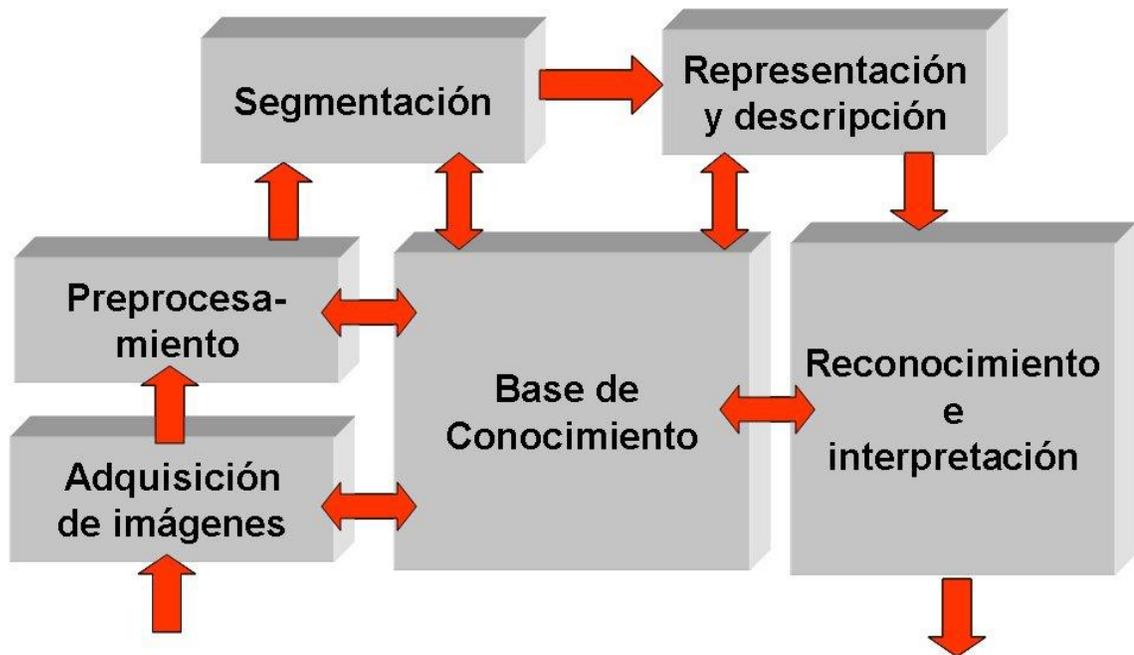


Figura 7. Diagrama de Etapas de un Sistema de Visión Artificial.

5.3 Espacios de Color

Un espacio de color no es más que una interpretación del color, es decir, como se organizan específicamente los colores en una imagen o video; El objetivo de un espacio de color, es buscar representar la percepción humana del color en una imagen, de manera normalizada y aceptada genéricamente por medio de modelos matemáticos abstractos, conocidos como

“Modelos de color” que describen la manera en la que los colores pueden ser representados en forma de tupla de números de 3 o más componentes, representando estos, la combinación de bytes necesaria para obtener el color deseado (RGB [0, 255, 0], RGBA [255, 255, 0, 10]). Existen diversos modelos basados en las necesidades del contexto de aplicación, siendo de los más comunes (RGB, RGBA, HSV, HSI, Lab, Etc).

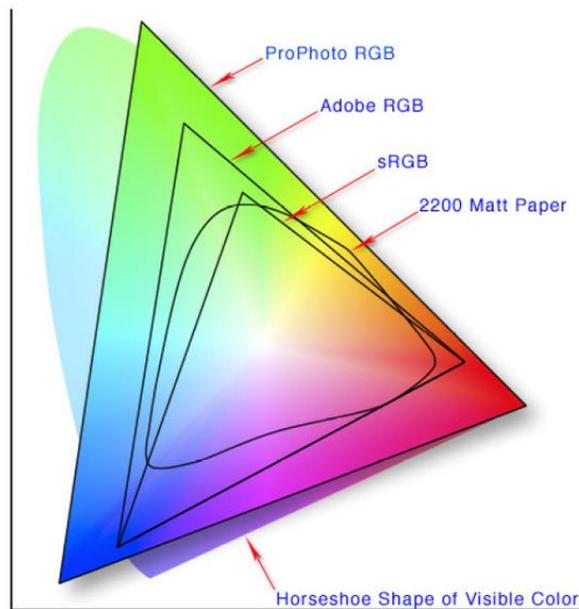


Figura 9. Comparación de diversos modelos RGB en un Espacio de color

5.3.1 Modelo RGB.

Este modelo se representa con tres componentes un componente Rojo uno Verde y uno Azul que pueden ser mapeados en una figura cubica donde una tupla de 3 números componen un punto relacionado a un color en el espacio del modelo, este modelo por excelencia es ampliamente utilizado (Escáner, TV, Monitor, Led, Cámara), ya que se compone de una síntesis aditiva de los componentes, pudiéndose obtener los demás colores por combinación.

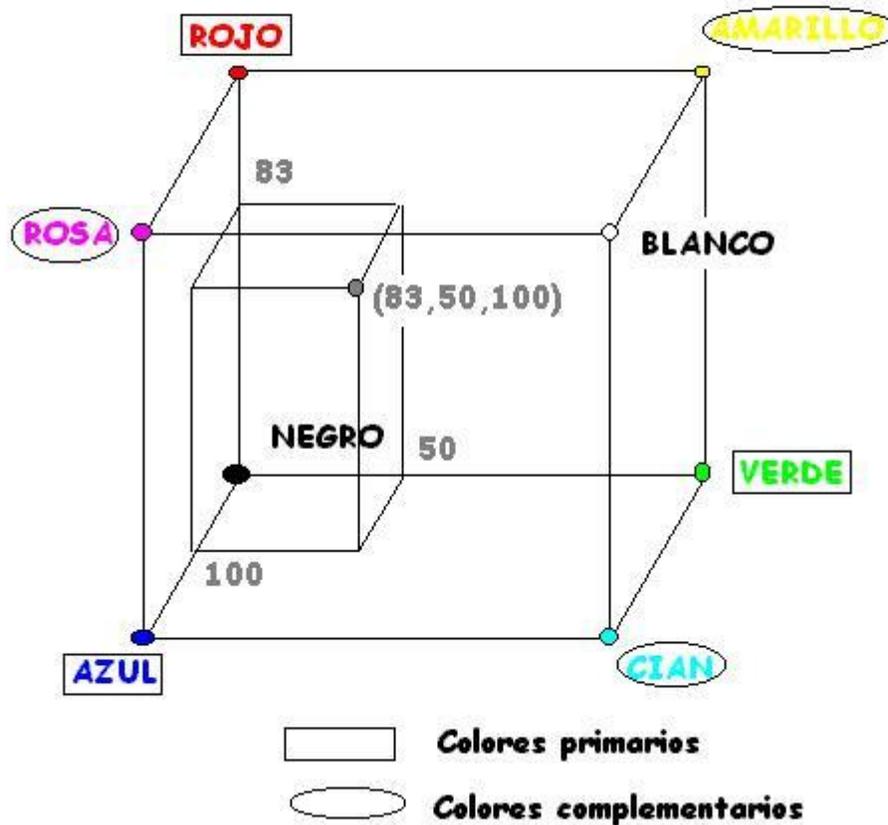


Figura 10. Modelo RGB Mapeado en Cubo

En este modelo la luminosidad está directamente ligado al color, así que el Negro corresponde a la coordenada RGB [0, 0, 0] y el Blanco a la coordenada RGB [1, 1, 1].

5.3.2 Modelo HSV.

Este modelo se representa por tres componentes Tonalidad (Hue), Saturación (Saturation), Value (Valor), que describen un modelo en términos de sus componentes constituyentes. Este modelo se representa como un cono, donde las correspondencia se muestran de la siguiente forma: los vértices al blanco y negro, el Angulo con la tonalidad, la distancia al eje con la saturación y la distancia al eje blanco/negro con el valor.

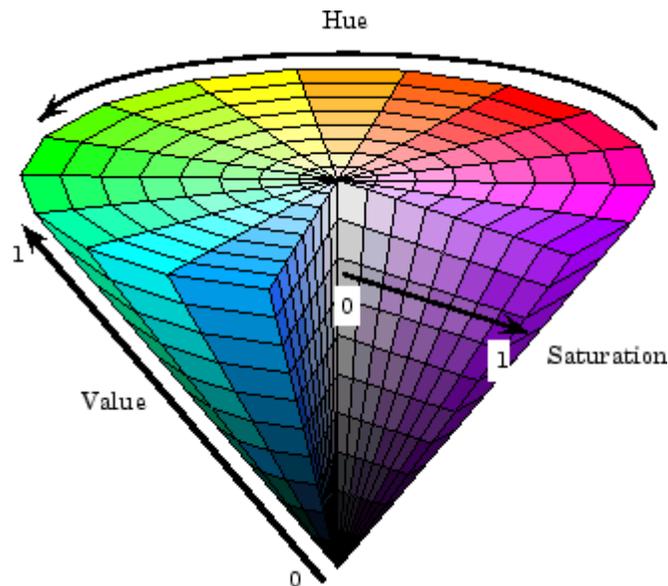


Figura 11. Modelo HSV/HSI Cono

En el modelo HSV el tono representa un atributo cromático, y describe un color puro, en cambio la saturación es la medida del grado en el que este color puro está diluido en la luz blanca. Esto quiere decir, que el tono y la saturación están directamente ligados a cómo perciben el color nuestros ojos. En cambio el componente de valor/intensidad, está desacoplado de la información cromática principal normalmente y se expresa generalmente como un porcentaje entre 0% y 100% / negro-blanco.

Para procesamiento de imágenes en color, siempre se recomienda usar este modelo ya que posee un mayor rango dinámico de saturación.

5.4 Herramientas de Software

Para el desarrollo de este proyecto fue seleccionado el Framework de Computer Vision OpenCV, y el lenguaje de programación Python, así como MySQL como motor de base de datos.

Al momento de escoger las herramientas, se definió en primera instancia la librería de procesamiento gráfico, luego de haber investigado diferentes librerías de código abierto y otras de pago disponibles en el mercado, se llegó a la conclusión de que la mayor parte de estas, eran implementaciones o wrappers de la librería de código abierto OpenCV, según Bradsky y Kaehler.

La librería OpenCV está diseñada con un fuerte enfoque hacia la eficiencia computacional y ha sido usada por sus características en áreas como el procesamiento de imágenes complejas, así que esta fue escogida luego de investigar más profundamente el funcionamiento de la misma y encontrar una amplia base de conocimiento (libros, tutoriales, foros, grupos de noticias).

Luego de haber escogido OpenCV como librería de procesamiento gráfico, se procedió a decidir sobre que lenguaje se desarrollaría el proyecto, como opción principal se tenía C++ que es el lenguaje nativo en que está escrito OpenCV, aunque existen wrappers para otros lenguajes, la mayoría son muy limitados en cuanto a procesamiento gráfico puro. Así que luego de realizar un proceso de revisión bibliográfica, se encontró que el lenguaje de programación Python tiene un wrapper muy cercano a la implementación nativa de C++, Python es multiplataforma, robusto y eficiente en el procesamiento de datos complejos, así que este fue seleccionado como lenguaje de programación para este proyecto.

A continuación se realiza una breve descripción de las herramientas usadas para el desarrollo del software.

5.4.1 Python.

Como lo afirma Bosanac, D. (2007), Python es un lenguaje de programación multi-paradigma, bastante robusto que posee una sintaxis sencilla y de fácil lectura. Python es apoyado en su desarrollo por la comunidad, por ende se distribuye bajo la licencia de software libre (GNU) y al ser multiplataforma, se encuentra disponible para sistemas Linux, MacOS y Windows.



Figura 12. Python Powered

Fuente: www.python.org

Python cuenta con soporte para programación funcional, modular y orientada a objetos, esto permite que sea dinámico, con facilidad para reuso de código y brinda un alto nivel de abstracción. Este lenguaje es ampliamente utilizado en el área de la computación científica por su facilidad de crear scripts que realicen funciones complejas de forma rápida y eficiente y su alta capacidad computacional.

5.4.2 OpenCV.

OpenCV es una librería de código abierto y multiplataforma, para desarrollo de aplicaciones de visión artificial por computador, que provee un amplio abanico de funciones para procesamiento y reconocimiento de imágenes (Figura 9). Originalmente OpenCV podía ser usado únicamente con los lenguajes C y C++ con los que fue codificado la librería, actualmente y gracias a su amplia comunidad de soporte, existen API's para otros lenguajes como Python, Ruby, Matlab, Java, entre otros.

Así como Bradsky y Kaehler lo exponen en su obra, OpenCV se diseñó pensando en obtener la mayor eficiencia computacional enfatizando en las aplicaciones para procesamiento en tiempo real y el aprovechamiento de entornos computacionales multi-núcleo.

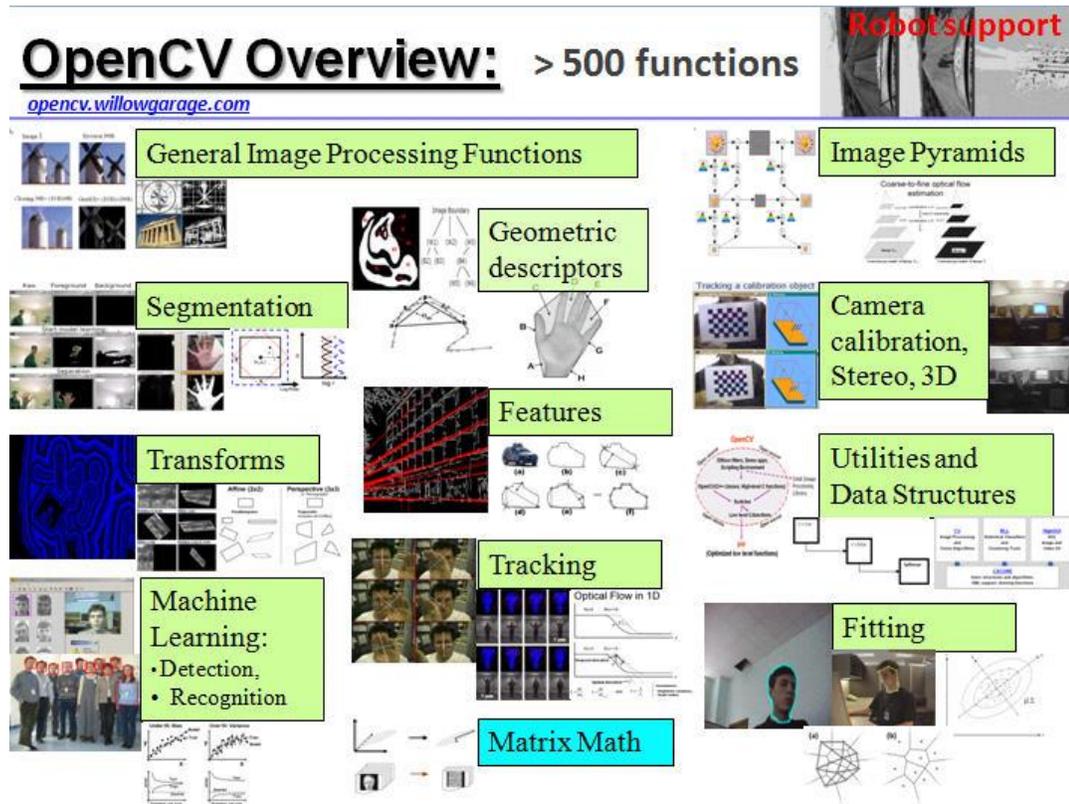


Figura 13. Resumen Funciones de OpenCV

Fuente: <http://willowgarage.com>

Como objetivo principal, OpenCV busca proveer una infraestructura para facilitar la construcción de aplicaciones sofisticadas en el campo de la visión artificial en corto tiempo. La librería provee más de 700 algoritmos que se enfatizan en diversos campos de la visión artificial, Estos incluyen, la inspección de productos en fábricas, imágenes médicas, seguridad, interfaces de usuario, calibración de cámaras, visión estéreo y robótica.



Figura 14. Aplicación Biométrica e Inspección Industrial

Fuente: Siemens AG – Omron Elec LLC

5.4.3 MySQL.

Es un motor de base de datos de código abierto de tipo Relacional, que ofrece la posibilidad de tener bases de datos fiables, de alto rendimiento y fácilmente escalables con un bajo coste y con un amplio soporte, ya que este motor de base de datos cuenta con soporte para casi todos los lenguajes de programación que existen actualmente, y el soporte es constante gracias a su amplia comunidad de desarrolladores.

Field	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Extra	Action
<input type="checkbox"/> book_id	varchar(15)	latin1_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> book_name	varchar(50)	latin1_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> isbn_no	varchar(15)	latin1_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> cate_id	varchar(8)	latin1_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> aut_id	varchar(8)	latin1_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> pub_id	varchar(8)	latin1_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> dt_of_pub	date			No	0000-00-00		
<input type="checkbox"/> pub_lang	varchar(15)	latin1_general_ci		Yes	NULL		
<input type="checkbox"/> no_page	decimal(5,0)			No	0		
<input type="checkbox"/> book_price	decimal(8,2)			No	0.00		



Figura 15. Estructura de una Tabla en MySQL

Fuente: www.mysql.com

5.5 Arduino



Figura 16. Arduino Open-Source Community

Fuente: <http://www.arduino.org/>

Arduino es una comunidad que soporta el desarrollo de una serie de placas de prototipado rápido para circuitos electrónicos con micro-controladores que llevan el mismo nombre, estas placas generalmente se compone de 2 partes, un firmware con su respectivo entorno de desarrollo para programar las funciones del micro-controlador y una placa de prototipado que está conformada por un micro-controlador reprogramable que viene cargado con el firmware arduino y una serie de pines para conectar piezas externas al micro-controlador de manera rápida y sencilla.

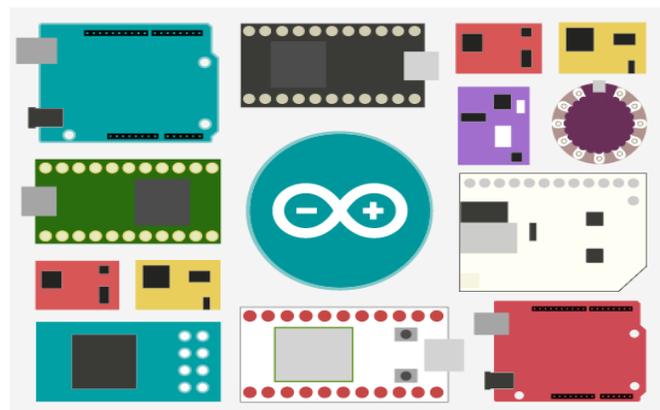


Figura 17. Arduino Familia de Placas

Fuente: <http://www.arduino.org/>

5.5.1 Arduino UNO.

La placa Arduino UNO (ver Figura 14) es la más utilizada en el mercado, porque fue la primera en aparecer y una de las más económica de todas. El modelo de micro-controlador que utiliza la placa Arduino UNO, es el ATmega328P de la compañía Atmel.

El micro controlador ATmega328P tiene incorporado una memoria flash que se utiliza para almacenar permanentemente el programa que ejecutará el micro-controlador hasta que sucede una nueva escritura. La cantidad de espacio dedicada a esta memoria es de 32 Kb. Este micro-controlador además tiene incorpora una memoria SRAM, que al ser una memoria volátil se utiliza para alojar datos que cambian durante la ejecución de programa, esta tiene una capacidad de 2kb. Por último, se encuentra la memoria EEPROM donde se almacenan datos permanentemente, esta tiene una capacidad de 1Kb.

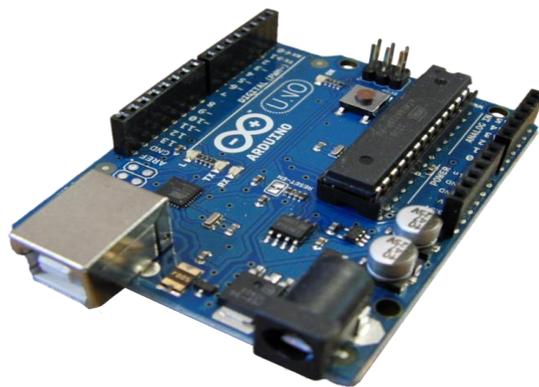


Figura 18. Placa Arduino Uno

5.5.2 Comunicación serial.

Arduino incorpora librerías para la comunicación serie o UART, esta comunicación es utilizada para compartir datos entre micro-controladores y dispositivos más robustos. Arduino tiene una gran variedad de métodos tanto para recibir como transmitir datos.

5.5.3 Entradas y Salidas digitales.

Arduino ofrece la posibilidad de trabajar con entradas y salidas digitales, las cuales se utilizan para control PWM, encendido de leds, dip switch y utilización de muchos tipos de sensores (Torrente Oscar, et al. 2013).

5.6 Desarrollo Ágil - Metodología (Xp)

La metodología de desarrollo ágil XP (eXtreme Programing) es ideal para el desarrollo de este proyecto, ya que funciona con equipos pequeños entre 1 a 4 personas que se centran en el desarrollo de una única solución de software, esta metodología se caracteriza principalmente por poner más énfasis en la adaptabilidad que en la previsibilidad. Dicho de otra manera, el enfoque de la metodología XP se centra en adaptar el desarrollo a los cambios en los requerimientos, en lugar de prever cuales son los posibles cambios que puedan suceder.

La metodología XP se basa en 12 principios básicos agrupados en 4 categorías, facilitan el ciclo de vida del desarrollo de software.

- Retroalimentación a escala fina.
- Proceso continuo en lugar de por lotes.
- Entendimiento compartido.
- Bienestar del programador.

6. Metodología

El presente estudio es de carácter cuantitativo y experimental, se llevó a cabo en las instalaciones de la Corporación Universitaria del Caribe (CECAR) Carretera troncal de occidente - Vía Corozal - Sincelejo (Sucre). Metodológicamente el proyecto se realizó en tres fases, las cuales se relacionan a continuación:

- La primera fase consiste en establecer valores de comparación para los diferentes estados de madurez del mango, basado en la Norma NTC 5139.
- La segunda fase implica el desarrollo del prototipo de sistema de captura de información y de un software para ser usado con el prototipo del sistema de captura.
- La tercera fase implica realizar la validación del sistema mediante pruebas estadísticas.

Para el desarrollo de estas fases se plantea una metodología para cada objetivo específico como sigue:

6.1 Establecer cotas de comparación para los diferentes estados de madurez del mango, tomando como base los parámetros establecidos en la Norma NTC 5139 para usarlos como estados comparativos en el software.

Partiendo de los trabajos realizados por Torres y Camacho (2013), que establecen una correlación entre el color de fruta, el estado de madurez y cambios en las propiedades fisicoquímicas de la misma, se determinó que es factible utilizar los cambios de color del exocarpio de la fruta, como indicador de su estado de madurez. Así que se procedió a determinar los colores que representan los diferentes estados de madurez del mango de hilacha.

Para determinar los colores representativos de los estados de madurez, se tomó como base la Norma NTC 5139 “Frutas Frescas. Mangos Criollos”, que establece criterios de calidad y

clasificación del mango de Hilacha. Donde se muestra una tabla comparativa en los diferentes estados de madurez de la fruta (ver Figura 15).



Figura 19. Tabla de color Mango de Hilacha (NTC 5139)

Estos estados se encuentran detallados en la siguiente en la (ver Tabla 1) ofrecida dentro de la norma.

Tabla 1:

Características del mango de hilacha

Color	Características del fruto
0	Cáscara del fruto verde oscura y pulpa de color amarillo claro.
1	Cáscara del fruto verde clara y pulpa amarilla.
2	Cáscara del fruto verde clara con visos amarillos. La pulpa cercana a la semilla es de color amarillo intenso y la adyacente a la cáscara es de color amarillo claro.
3	Cáscara del fruto amarilla con visos verdes. El área de color amarillo intenso de la pulpa cercana a la semilla aumenta. La zona adyacente a la cáscara disminuye y se toma más amarilla.
4	Cáscara del fruto amarilla. La pulpa cercana a la semilla es anaranjada y la adyacente a la cáscara es de color amarillo intenso.
5	Cáscara y pulpa totalmente anaranjadas

6.2 Seleccionar un hardware de captura de imágenes para el sistema, mediante el uso de una Tabla ponderativa, para determinar cuál es la mejor opción a usar.

Para la selección del hardware de captura, se tuvieron en cuenta parámetros como el costo, resolución de la cámara, asequibilidad y capacidad de transferencia. Para ello, se realizó una revisión de algunos dispositivos relevantes que existen actualmente en el mercado y que permiten cumplir con estos requerimientos. Para el proceso de selección se utilizó un método de carácter cuantitativo mediante una matriz de ponderación (ver Tabla 2).

Tabla 2:

Matriz de ponderación para selección del dispositivo de captura

Aspecto	Ponderado	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Dispositivo 3
Costo	0.3			
Resolución de la Cámara	0.2			
Asequibilidad	0.2			
Capacidad de Transferencia	0.3			
Total	1.0			

6.3 Diseñar un prototipo de hardware a escala que haga uso del hardware de captura escogido, para demostrar el funcionamiento del sistema.

Para el diseño del prototipo se consideró que la adquisición de las imágenes es una de las etapas fundamentales dentro del proceso de visión artificial, ya que si no se realiza correctamente, el sistema no tiene las herramientas para procesar las imágenes de manera correcta.

El prototipo del sistema, así como el montaje general de un sistema de visión artificial se diseñó considerando la participación de cuatro componentes básicos: un sistema de Iluminación,

el hardware de captura (Cámara), una computadora y un software para procesamiento de las imágenes capturadas como se muestra en la Figura 20.

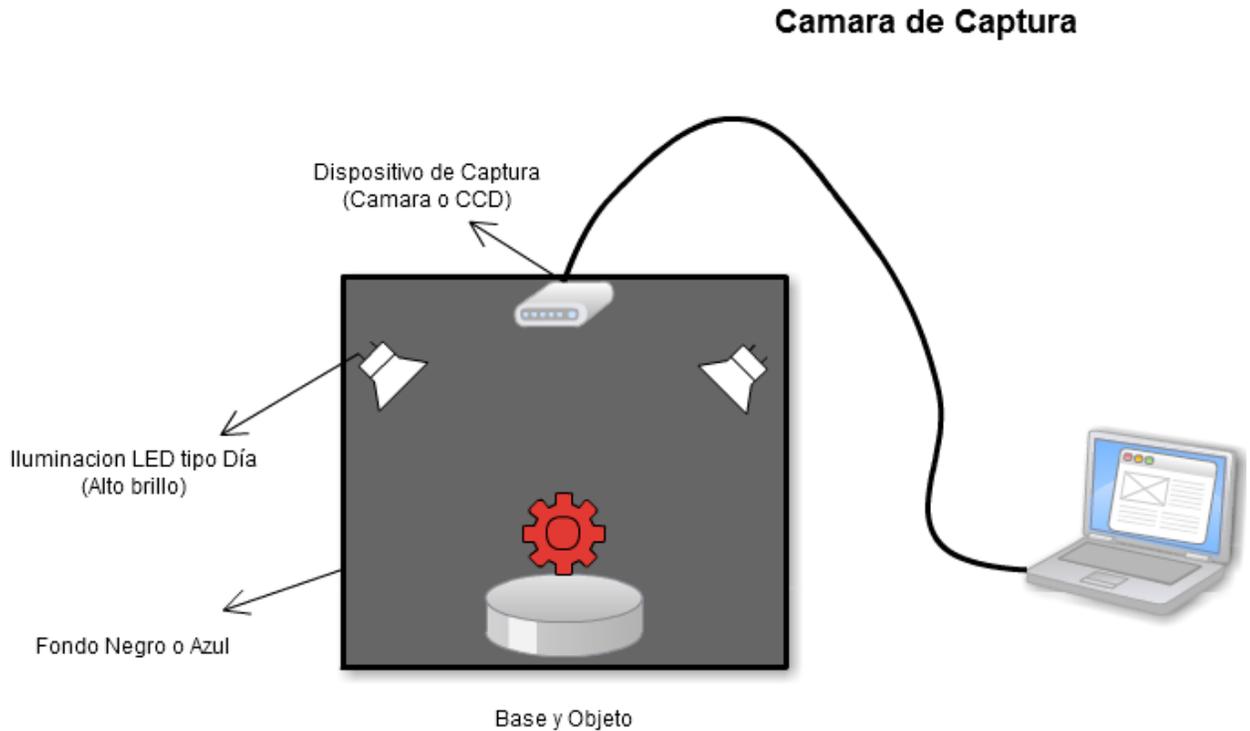


Figura 20. Componentes de un Sistema de Visión Artificial

El diagrama de secuencia del sistema se ilustra en a Figura 21.

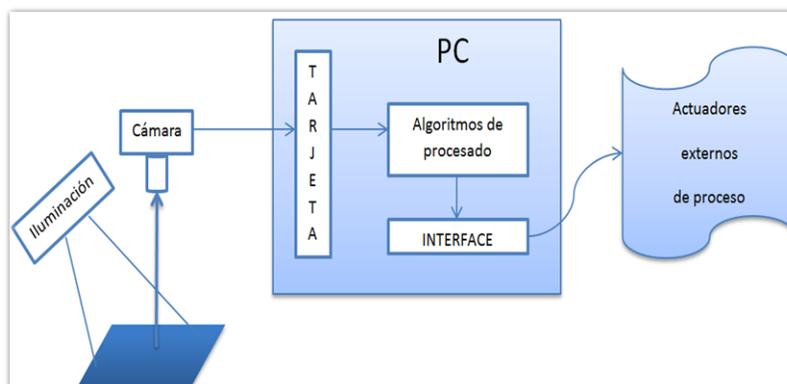


Figura 21. Diagrama Sistema de Visión Artificial

6.4 Desarrollar un software que haga uso de técnicas de procesamiento de imágenes para el tratamiento de los datos capturados por el prototipo.

Un algoritmo de visión artificial, cuenta con unos pasos que determinan la funcionalidad del sistema, para el desarrollo de este objetivo, se toma este algoritmo como modelo, que es la base para el diseño general del software. La figura 22 ilustra un esquema de la forma en que funciona el sistema.

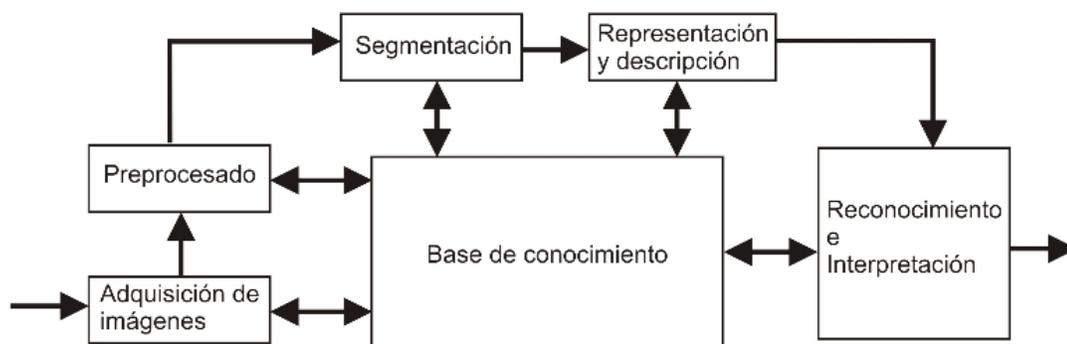


Figura 22. Esquema de un Sistema de Visión Artificial

Por otro lado, luego de estudiar diferentes metodologías en procesos de desarrollo de software, se optó por escoger para el desarrollo de esta Fase, la metodología de diseño ágil Programación Extrema o XP (eXtreme Programming).

6.5 Validar los resultados arrojados por el sistema mediante pruebas estadísticas para comprobar el porcentaje de efectividad del sistema.

Para la validación de los resultados arrojados por el sistema, se procedió a realizar, una serie de pruebas, con mangos en diferentes estados de madurez, y se compararon los resultados obtenidos por el sistema con pruebas realizadas a los mismos mangos por medio de inspección manual, para determinar el porcentaje de aciertos del sistema contra el porcentaje de acierto del método manual, el cual es el estándar que usan los productores de mango en la región.

Para realizar las pruebas se usó un formato (Tabla 3) donde establece unos días para realizar las pruebas y guarda el resultado del Estado por inspección manual (Se realizan 3 inspecciones) y el Estado obtenido por el Sistema.

Tabla 3:

Formato de Pruebas Comparativas

Mango	Días	Inspección Manual (1)	Inspección Manual (2)	Inspección Manual (3)	Inspección Software
1	1				
1	3				
1	5				
1	7				
1	9				
1	11				

Para la validación del software, se realizó estadísticamente una regresión logística, mediante la cual determinó un modelo matemático de estimación probabilística que básicamente calcula la probabilidad de que el software pueda fallar frente a la evaluación de los diferentes estados de madurez del mango. Se contempló que si el software tenía un nivel de acierto hasta el 95%, entonces puede considerarse como confiable para su utilización e implementación en alguna empresa procesadora del sector frutícola.

7. Resultados y Análisis

7.1 Establecer cotas de comparación para los diferentes estados de madurez del mango.

Seguida la metodología establecida para este objetivo, se establecieron una serie de valores representativos de color promedio para cada estado (Figura 23), así como cotas de aceptación (inferior y superior), que se usaron como índice de comparación para las imágenes captadas por el prototipo. Los valores promedio en formato HSV y RGB extraídos se muestran en la Tabla 4 y las cotas de aceptación se muestran en las Tablas 5.

Las cotas que se definen en este punto, se refieren a unas tuplas de tres componentes en el modelo HSV que usará el software como límite inferior y superior de búsqueda, por ejemplo:

Se toman como base dos tuplas, en este caso de verde oscuro [49, 50, 50] a verde-azulado claro [80, 255, 255], por medio de un algoritmo, se realiza una búsqueda dentro de la imagen para encontrar todos los pixeles cuyo valor se encuentre dentro de este rango.



Figura 23. Funcionamiento de las Cotas

Con esto se genera una máscara donde solo muestra la región de la imagen con el color entre las cotas, los pixeles que no correspondan se excluyen y se ven negros, cabe notar que aquí

juega un papel muy importante la luminosidad, ya que el sistema puede captar o no un color basado en la incidencia de la luz sobre el mismo.

Luego de tener esta mascara, se puede usar para calcular el porcentaje de un color dentro de la imagen, o para segmentar la misma y solo usar la ROI (Región de Interés).



Figura 24. Muestras de cada Estado de Color (NTC 5139)

Tabla 4:

Valores HSV y RGB extraídos de las muestras de color

Estado	HSV			RGB		
	H	S	V	R	G	B
0	36,3	-19,2	15,3	61	93	60
1	39,7	-21,5	20,5	69	102	59
2	65,4	-4,4	44,9	176	159	76
3	76,5	3,4	54,9	224	184	84
4	72,9	3,8	49,1	212	174	87
5	76,9	6,6	54,1	230	183	87

Las cotas expuestas en la tabla 5, determinan la cantidad de pixeles que se encuentran entre dos muestras de color y por ende determinan el porcentaje de un color y sus variantes existentes en una imagen. Así mismo, las cotas fueron truncadas para establecer 4 estados de comparación y no 6 como lo dice la norma, para ofrecer un mayor rango de comparación entre estados, debido a que como se nota en la Figura 23, los estados tomados en pares son muy

parecidos visualmente, de esta forma, quedarían establecidos 4 estados finales de aceptación los cuales serán nombrados (Verde, Pintón, Maduro, Dañado).

Tabla 5:

Cotas de Aceptación RGB y HSV extraídos de las muestras de color

Estado	Inferior			Superior		
	Ri	Gi	Bi	Rs	Gs	Bs
1	27	56	8	88	113	117
2	84	106	119	107	116	130
3	106	129	143	113	136	150
4	68	91	99	78	97	111

Estado	Superior			Superior		
	Hi	Si	Vi	Hs	Ss	Vs
1	48	219	56	94	63	117
2	101	75	119	103	70	125
3	107	66	143	111	73	150
4	98	80	99	103	76	111

Los valores para las cotas (Sujetos a cambios por calibracion) se almacenan en una tabla dentro de una base de datos (Figura 25) de tal forma de que el sistema sea escalable y puedan existir varios estados predefinidos dentro de los espacios de color RGB y HSV. Así mismo, dentro de la tabla se establece un porcentaje de aceptación para cada estado, indicando cuanto porcentaje de pixeles entre las cotas en relación a los otros estados, debe existir para reconocerse como un estado predominante.

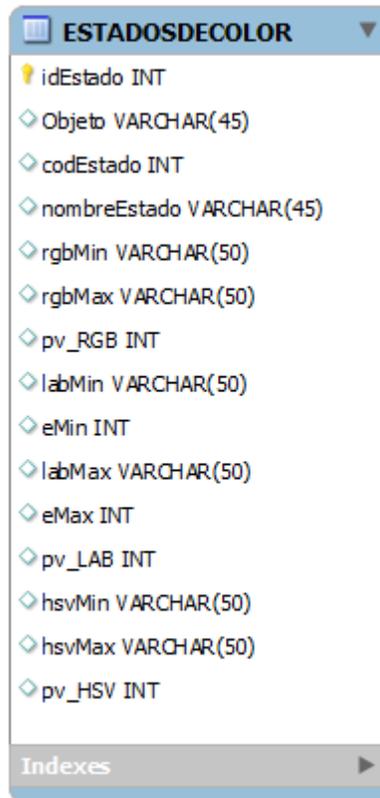


Figura 25. Base de Datos Estados de Color

Para propósitos prácticos en la demostración de este proyecto, se hizo uso de los valores de cota referenciados en las Tablas 5, pero el sistema puede ser modificado y re-calibrado de tal forma que se puedan establecer varios estados, con cotas más finas para cualquier otro objeto, fruta o verdura que se quiera detectar.

7.2 Seleccionar un hardware de captura de imágenes para el sistema.

Para el desarrollo de este objetivo, se procedió a escoger 3 dispositivos con diferentes características, necesarias para el correcto funcionamiento del sistema como se muestra en los aspectos de la matriz de ponderación (Tabla 6), Teniendo en cuenta los aspectos requeridos, se escogieron los dispositivos mostrados a continuación:

- Dispositivo 1: Microsoft LifeCam Studio 720p/1080p HD
- Dispositivo 2: Cámara de Celular Compatible con BLS (Back Light Support)

- Dispositivo 3: Cámara CCD Sony SSC-DC174 1/3" Super HAD

Tabla 6:

Matriz de ponderación del dispositivo de captura seleccionado

Aspecto	Ponderado	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Dispositivo 3
Costo	0.3	3	2	1
Resolución de la Cámara	0.2	4	3	5
Asequibilidad	0.2	2	5	2
Capacidad de Transferencia	0.3	1	5	3
Total	1.0	2.40	3.70	2.60

Basándose en los resultados de la tabla de la evaluación ponderativa, se obtiene que la mejor opción es usar el dispositivo 2, la cámara de un celular compatible con BLS (Back Light Support), debido a su fácil asequibilidad, capacidad de transmisión y resolución del dispositivo.

El dispositivo 1 ofrece una opción relativamente económica y bastante viable, pero con reducidas capacidades de comunicación y los dispositivos tipo CCD (Charge-Coupled Device) ofrecen una resolución excelente, pero su costo son bastante altos y su asequibilidad bastante limitada. Por tanto, se hace necesario tener en cuenta que para propósitos prácticos y de demostración, se da mayor importancia a un dispositivo que sea más asequible, pero en un entorno de aplicación profesional, tendría poca importancia la asequibilidad, y otro dispositivo podría pasar a tener un mayor valor en esta tabla.

7.3 Diseñar un prototipo de hardware que demostrar el funcionamiento del sistema.

Como se describe en la metodología establecida para este objetivo, se deben tener una serie de componentes básicos para el correcto funcionamiento de un sistema de visión artificial. Con el propósito de diseñar un prototipo práctico para la demostración de la funcionalidad del sistema, se decidió usar el modelo básico de tipo herradura mayormente usado en entornos industriales, haciendo uso de una caja de cartón que fue adecuada para el propósito.

El prototipo fue realizado de la siguiente manera:

- Se tomó una caja de cartón de 24x19x19

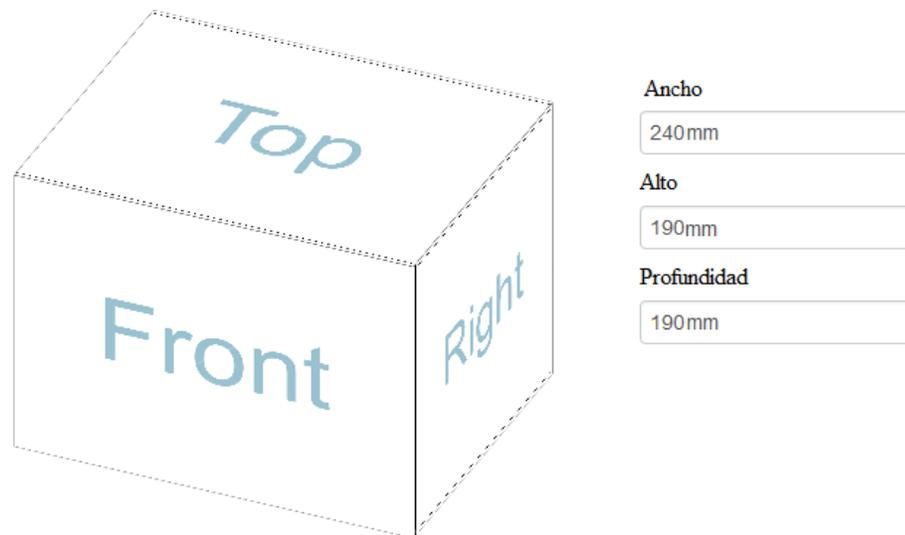


Figura 26. Medidas de la Caja

- A esta caja se procedió a retirarle la parte frontal y la posterior, para dejar una abertura en medio de la caja por donde insertar la fruta, de igual forma se realizó una apertura en la parte superior donde ubicar el lente de la cámara para realizar las capturas.



Figura 27. Vista Frontal de la Caja



Figura 28. Vista Superior de la Caja

- Para reforzar la caja de cartón se forró con cinta de empapelar y se le aplicó laca para sellar la cinta.



Figura 29. Caja Forrada y Lacada

- La base de la caja donde se ubica la fruta, se forró con cartulina blanca, para que la fruta sobresalta del fondo y no brille con la iluminación.



Figura 30. Base de la Caja

- Junto a la cámara de captura, se diseñó un prototipo de hardware que permite visualizar el estado actual de la fruta y gestionar los actuadores electrónicos (Identificados con Led) vinculados al sistema.

El prototipo electrónico de los actuadores fue realizado con la placa de prototipado rápido Arduino, que utiliza un micro controlador Atmega328p.

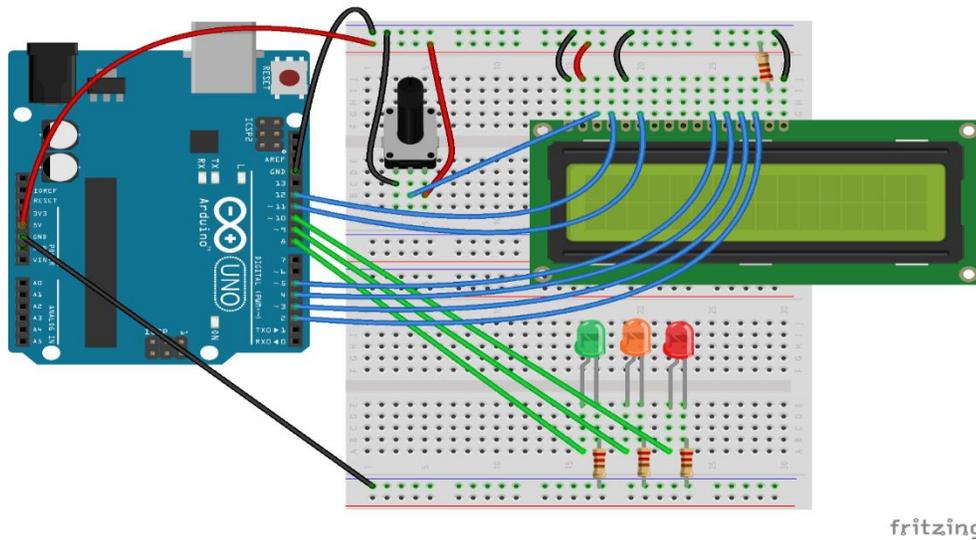


Figura 31. Diagrama Fritzing (SPM) de la placa de actuadores.

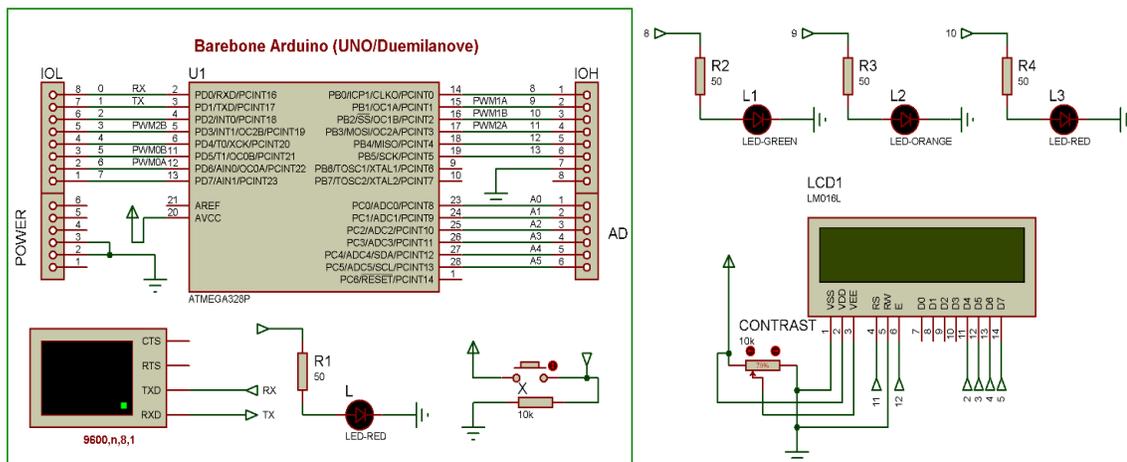


Figura 32. Diagrama Electrónico de la placa de actuadores.

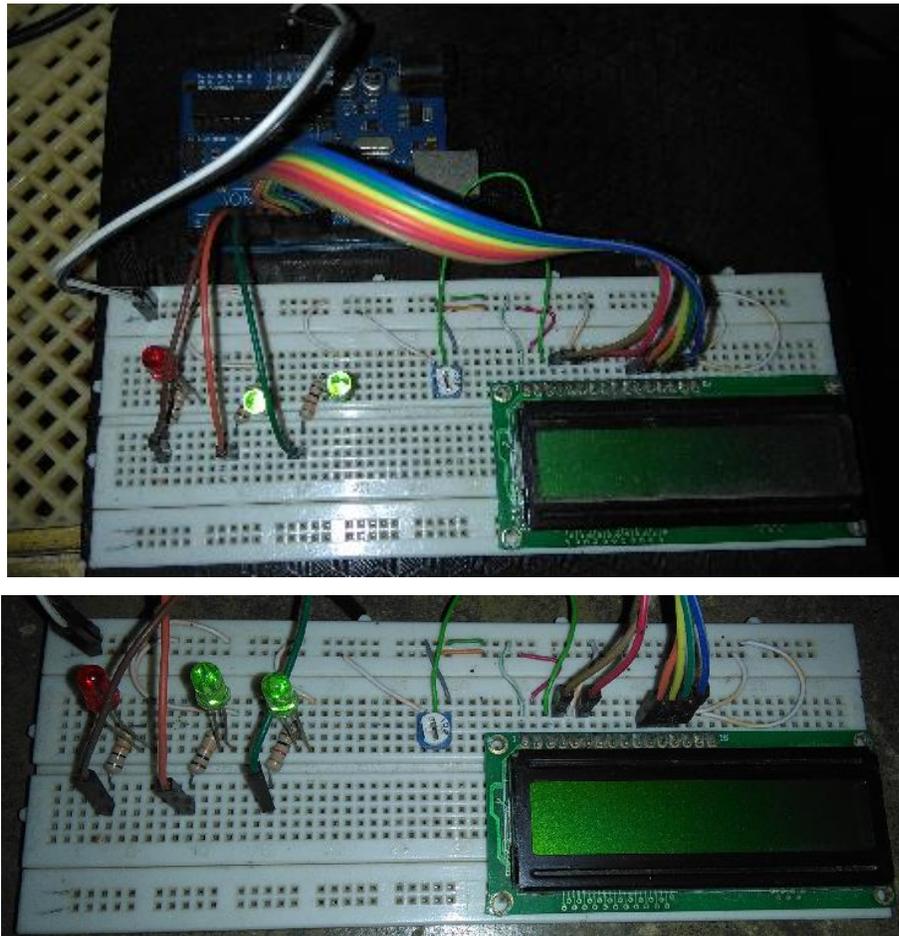


Figura 33. Prototipo Físico de la placa Electrónica

- El hardware de captura (cámara) se sitúa en la parte superior de la caja a por sobre la fruta para obtener un rango de visión más amplio.
- Para efectos de optimización y velocidad del algoritmo, se optó por cambiar la resolución de captura a 400x600.
- Como fuente de iluminación, se usaron tiras LED de color blanco frio, que fueron ubicadas en la parte inferior y superior interna de la caja para iluminar la fruta y obtener una mejor exposición y también eliminar las sombras generadas debajo de la fruta.



Figura 34. Tira LED Luz Blanca

- La cámara de captura y el prototipo electrónico forman una unidad.



Figura 35. Prototipo de Hardware Completo

Después de evaluar y realizar pruebas del prototipo, se puede afirmar que el modelo escogido es práctico y relativamente fácil de implementar para una situación que no amerite inspección minuciosa de toda la fruta, ya que debido a la ubicación de la cámara en el prototipo, solo se puede captar alrededor de 50% – 60% de la superficie de la fruta, más que suficiente para realizar el proceso de visión artificial en este caso, pero para otras situaciones específicas no es suficiente, ej. Inspección de imperfecciones o daños por insectos. Dado el caso, habría que modificar el prototipo para que hiciera uso de dos cámaras laterales y poder abarcar mayor superficie.

7.4 Desarrollar un software que haga uso de técnicas de procesamiento de imágenes.

Siguiendo la metodología expuesta para este objetivo, se desarrollaron satisfactoriamente los artefactos de software estándar usados cuando se trabaja con la metodología de desarrollo ágil XP (eXtreme Programming).

7.4.1 Análisis de Requisitos y Artefactos de Software.

A continuación se enumeran los artefactos de Software utilizados para el desarrollo de esta aplicación.

7.4.1.1 Programación Extrema, Historias de Usuario.

Las historias de usuario (Módulos) que se ilustran a continuación, fueron generadas en consenso entre los desarrolladores de la aplicación y tomando en cuenta las necesidades de la implementación del sistema.

Tabla 7:

Historia de Usuario N°001: Extracción de Patrones y Cotas

Historia de usuario	Extracción de Patrones y Cotas	N° 001
Descripción		
<p>Es necesario extraer unos patrones y cotas de comparación que se usarán en el software para identificar las frutas después del análisis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se utilizarán los patrones y cotas establecidos en la norma NTC. • Se utilizará igualmente unos patrones y cotas extraídos de una serie de frutas en diferentes estados de madurez. • Los patrones y cotas extraídos serán procesados para determinar unos patrones ideales. 		
Prioridad		Estimación
Alta		5 horas

Tabla 8:

Historia de Usuario N°002: Feeds (Apéndice A) Disponibles

Historia de usuario	Feeds Disponibles	N° 002
Descripción		
<p>Se debe permitir que el usuario escoja que feed o alimentador de imágenes desea procesar con la aplicación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se ofrecerá la opción de usar una imagen estática como feed para analizar. • Se debe permitir configurar que tipo de feed se desea usar (Estático o Video) y el medio ya sea desde una Cámara USB o una Cámara IP. 		
Prioridad		Estimación
Alta		20 horas

Tabla 9:

Historia de Usuario N°003: Interfaces Graficas

Historia de usuario	Interfaces Graficas	N° 003
Descripción		
<p>Es necesario que el software tenga una interface gráfica donde muestre el estado actual del procesamiento del feed.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la ventana principal se mostrarán una serie de botones con los pasos relevantes del proceso de visión artificial. • Cada botón debe abrir una ventana que muestre el proceso de la imagen hasta el punto escogido. • En la ventana principal se debe mostrar el estado de la fruta procesada. 		
Prioridad		Estimación
Alta		48 horas

Tabla 10:

Historia de Usuario N°004: Reportes

Historia de usuario	Reportes	N° 004
Descripción		
<p>Se necesita que un usuario pueda generar un reporte de la cantidad de objetos analizados, el estado del objeto, así como la fecha y hora del momento que se realizó el análisis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se utilizará una página realizada con PHP que se alojará en la intranet del servidor que hospeda el software para ofrecer las opciones de generación del reporte. • La página debe permitir filtrar el contenido por estado o fechas. • Se debe ofrecer la opción para exportar el reporte en PDF para imprimir. 		
Prioridad		Estimación
Alta		20 horas

Tabla 11:

Historia de Usuario N°005: Actuadores y Electrónica

Historia de usuario	Actuadores y Electrónica	N° 005
Descripción		
<p>Se necesita accionar una serie de actuadores electrónicos dependiendo de la respuesta de estado del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se utilizará una placa de desarrollo con un micro-controlador compatible con comunicación UART para comunicar con el software de forma serial. • Las respuestas del software deben ir ligadas a unos LED que indicarán el estado del objeto analizado. 		
Prioridad		Estimación
Alta		18 horas

7.4.1.2 Requerimientos Funcionales.

Luego de conocer las necesidades que presenta el usuario, se procede a desarrollar un cuadro con los requerimientos que se pueden abstraer de las historias de usuario.

Tabla 12:

Tabla de Requerimientos

Requerimiento N°	Módulo/Aplicación	Descripción del Requerimiento
RF1	Extracción de Patrones y Cotas	El requerimiento establece que el sistema debe cargar desde una base de datos, los patrones de comparación de cota superior, inferior y descripción del estado.

RF2	Feeds Disponibles	Permite al usuario escoger que tipo de feed o alimentador de imágenes procesar, ya sea imagen estática o video.
RF3	Configuración	Se debe ofrecer una herramienta para configurar aspectos importantes de la aplicación.
RF4	Aplicación	La aplicación debe procesar un feed de frames (imagen o video) para aplicar un algorítmico de visión artificial, y establecer determinar el porcentaje de la imagen que corresponde a unos patrones de color preestablecidos en una base de datos
RF5	Aplicación	Los datos de procesamiento de cada fruta se deben almacenar de forma histórica en una base de datos.
RF6	Actuadores y Electrónica	El sistema debe ser capaz de activar unos actuadores electrónicos al momento de determinar el estado de la fruta, para extender la operatividad del sistema.
RF7	Reportes	El sistema debe permitir generar reportes entre 2 fechas o por estado de la fruta, este debe contener: Descripción de estado por objeto procesado, hora en que se procesó, porcentaje de acierto, así como cantidad total de objetos procesados por estado.
RNF1	Reportes	Para la interface web del generador de reportes se usó el servidor Web Apache.
RNF2	Aplicación	Para el almacenamiento de los datos persistentes de la aplicación se hizo uso del Motor de base de datos MySQL 5.x

RNF3	Reportes	El reporte se puede solicitar en cualquier momento por medio de una interface Web realizada en PHP que conecta directamente con la base de datos del sistema.
RNF4	Interfaces Graficas	Este requerimiento ofrece al usuario por medio de unos botones, la posibilidad de visualizar en tiempo real el procesamiento de imágenes que se está llevando a cabo en el momento.

7.4.1.3 Diagrama de Casos de Uso.

Para dar una idea general de los requisitos del proyecto a continuación se mostrara un diagrama de casos de usos en la que se analizará la interacción que realiza cada actor con el sistema.

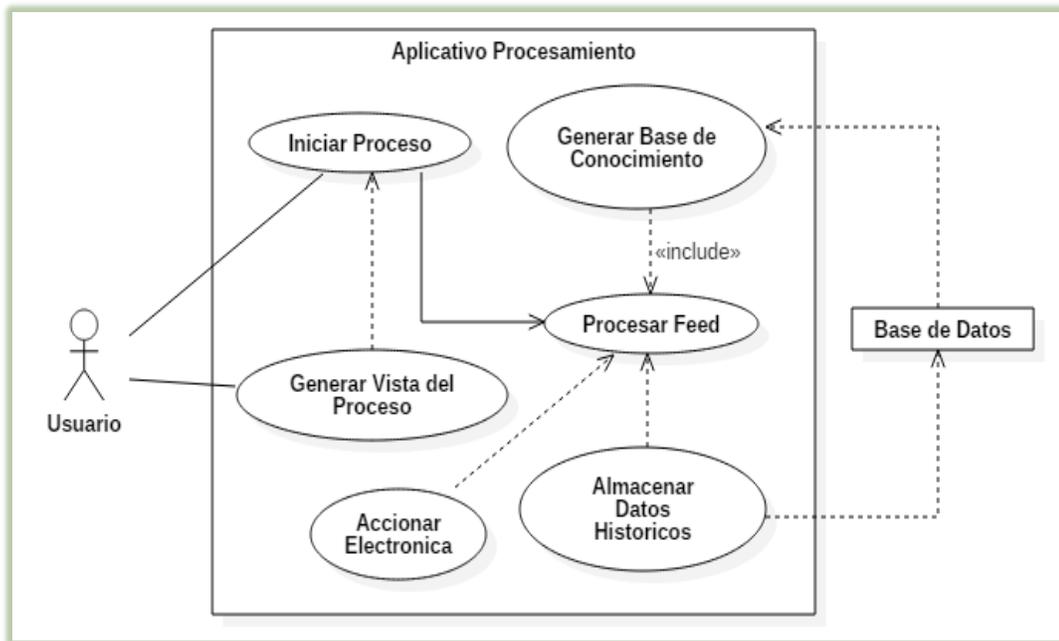


Figura 36. Diagrama de Casos de Uso Aplicativo de Reconocimiento

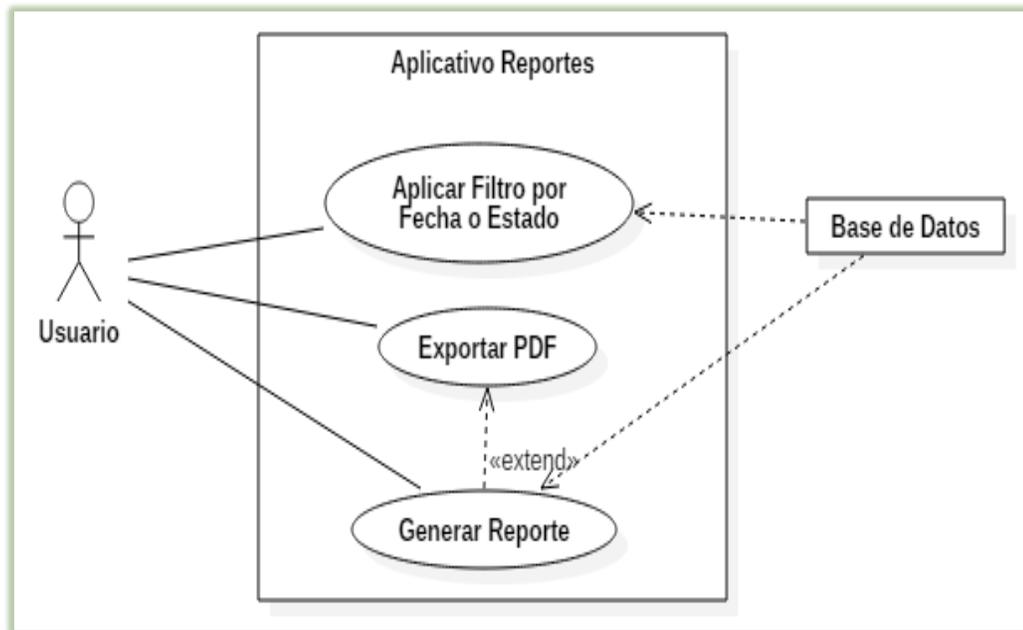


Figura 37. Diagrama de Casos de Uso Aplicativo de Reportes

7.4.1.4 Casos de Uso.

Tabla 13:

Caso de uso: Iniciar Proceso

Nombre	Iniciar Proceso
Actor	Usuario
Objetivo	Iniciar el proceso de Captura y Preparación del sistema
Precondición	Haber modificado el archivo de configuración.
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario desea iniciar el proceso de captura y preparación del sistema con los parámetros establecidos en el archivo de configuración.

Tabla 14:

Caso de uso: Procesar Feed

Nombre	Procesar Feed
Actor	Sistema
Objetivo	Procesar y Analizar el feed.
Precondición	Haber iniciado el proceso de captura Haber Generado la base de conocimiento.
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema utiliza un algoritmo de visión artificial para procesar imágenes de la fruta capturadas en el feed. - Luego de procesar la imagen, el sistema genera una serie de datos que son utilizados para analizar y determinar el estado de madurez de la fruta.

Tabla 15:

Caso de uso: Generar Base de Conocimiento

Nombre	Generar Base de Conocimiento
Actor	Sistema
Objetivo	Crear una estructura comparable para cargar a la aplicación los patrones y las cotas de comparación.
Precondición	Haber escogido un feed válido en la configuración.
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema crea una estructura especial de tipo comparable para cargar de una base de datos los patrones y cotas que serán usados por la aplicación para determinar los estados de los objetos analizados.

Tabla 16:

Caso de uso: Generar Vista del Proceso

Nombre	Generar Vista del Proceso
Actor	Sistema
Objetivo	Generar una vista previa del proceso, en un punto determinado.
Precondición	Haber iniciado el proceso.
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema permite por medio de botones, abrir una ventana donde muestra la imagen durante los pasos del proceso, ya sea la imagen original que representa el inicio del proceso, la Sumarización de máscara que determina el final del procesamiento de la imagen o algún punto intermedio el proceso.

Tabla 17:

Caso de uso: Almacenar Datos Históricos

Nombre	Almacenar Datos Históricos
Actor	Sistema
Objetivo	Almacenar un log de cada análisis realizado de forma histórica para luego extraerlo en forma de reporte.
Precondición	Haber procesado un feed
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema guarda en una base de datos los datos del análisis realizado con la información necesaria para poder mostrarlo luego como un reporte.

Tabla 18:

Caso de uso: Accionar Electrónica

Nombre	Accionar Electrónica
Actor	Sistema
Objetivo	Gestionar la electrónica vinculada al sistema, compuesta por una serie de actuadores y displays para mostrar información.
Precondición	Haber procesado un feed
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema acciona una serie de actuadores con un tiempo calibrado, dependiendo del estado de la fruta que se determine. - El sistema gestiona una pantalla LCD donde se muestra información relacionada con el proceso, así como el estado de la fruta.

Tabla 19:

Caso de uso: Aplicar Filtro por Fecha o Estado

Nombre	Aplicar Filtro por Fecha o Estado
Actor	Usuario
Objetivo	Filtrar los datos ofrecidos por la aplicación de reportes
Precondición	Deben existir datos que mostrar como reporte.
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - La aplicación permite escoger como se desean filtrar los datos del reporte. - El usuario escoge entre 2 fechas usando listas desplegables para filtrar el reporte. - El usuario escribe en una caja de texto el parámetro por el que filtrar.

Tabla 20:

Caso de uso: Generar Reporte

Nombre	Generar Reporte
Actor	Usuario
Objetivo	Generar un reporte en pantalla
Precondición	Deben existir datos que mostrar como reporte, y debe haberse filtrado los resultados del reporte.
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - Habiendo filtrado los datos que se desean obtener en el reporte, este se muestra en pantalla en forma de tablas.

Tabla 21:

Caso de uso: Exportar PDF

Nombre	Exportar PDF
Actor	Usuario
Objetivo	Generar un archivo de reporte en formato PDF
Precondición	Debe haberse generado el reporte en pantalla
Escenario Básico	<ul style="list-style-type: none"> - Por medio de un botón la aplicación permite generar un reporte en PDF para imprimir, con la información que se muestra en pantalla al generar un reporte.

7.4.1.5 Diagrama de Actividad.

Diagramas de Actividad de la aplicación de Reconocimiento y de la Aplicación de Reportes.

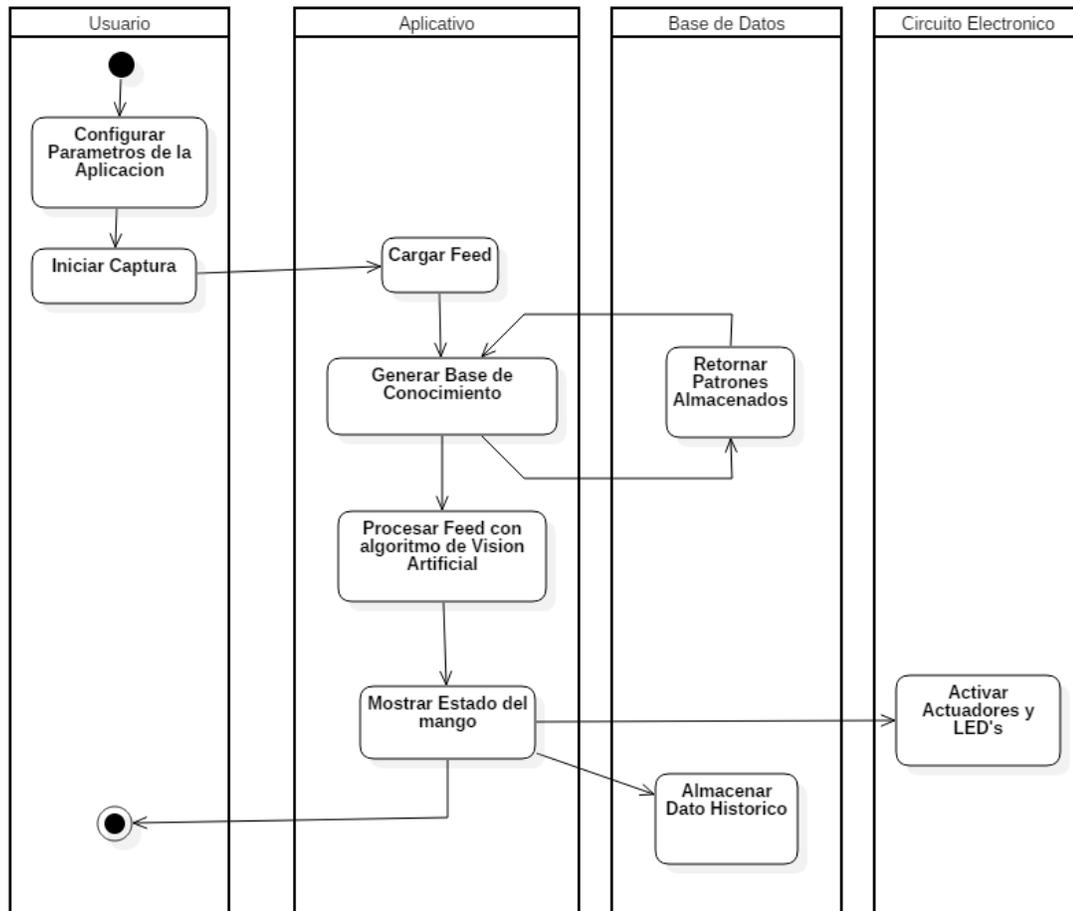


Figura 38. Diagrama de Actividad Aplicativo de Reconocimiento

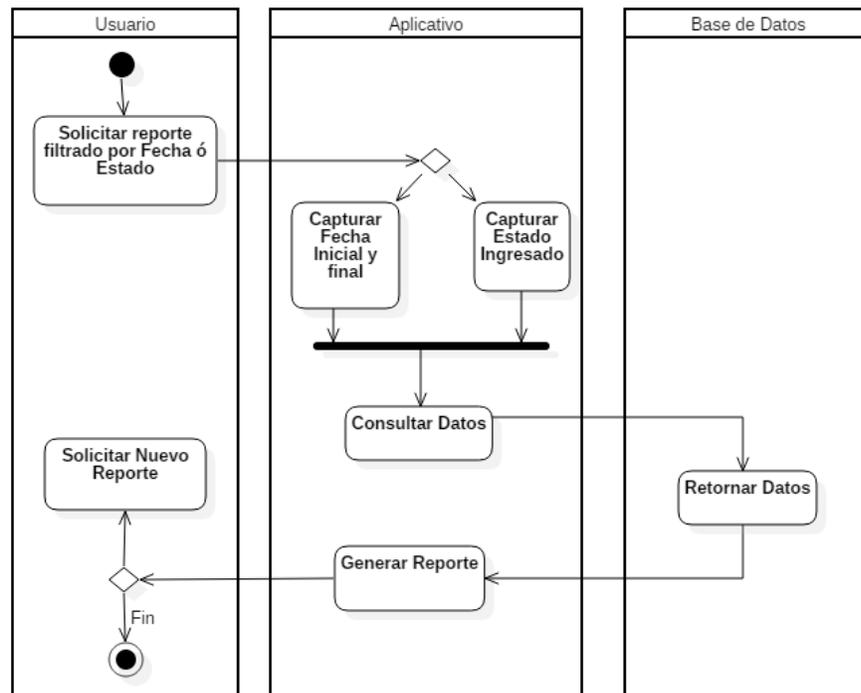


Figura 39. Diagrama de Actividad Aplicativo de Reportes

7.4.1.6 Diagrama de Distribución.

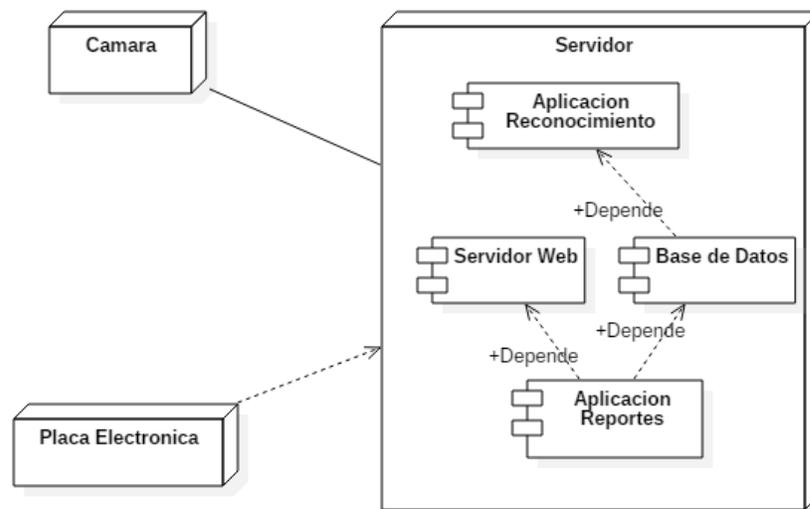


Figura 40. Diagrama de Distribución

7.4.2 Modelo Relacional.

Para el desarrollo de la aplicación, se hizo necesario crear una base de datos para guardar la información referente al Log Histórico para la generación de los reportes, así como una tabla para almacenar los Patrones y Cotas de comparación.

En el siguiente diagrama se muestra el diseño de dicha base de datos.

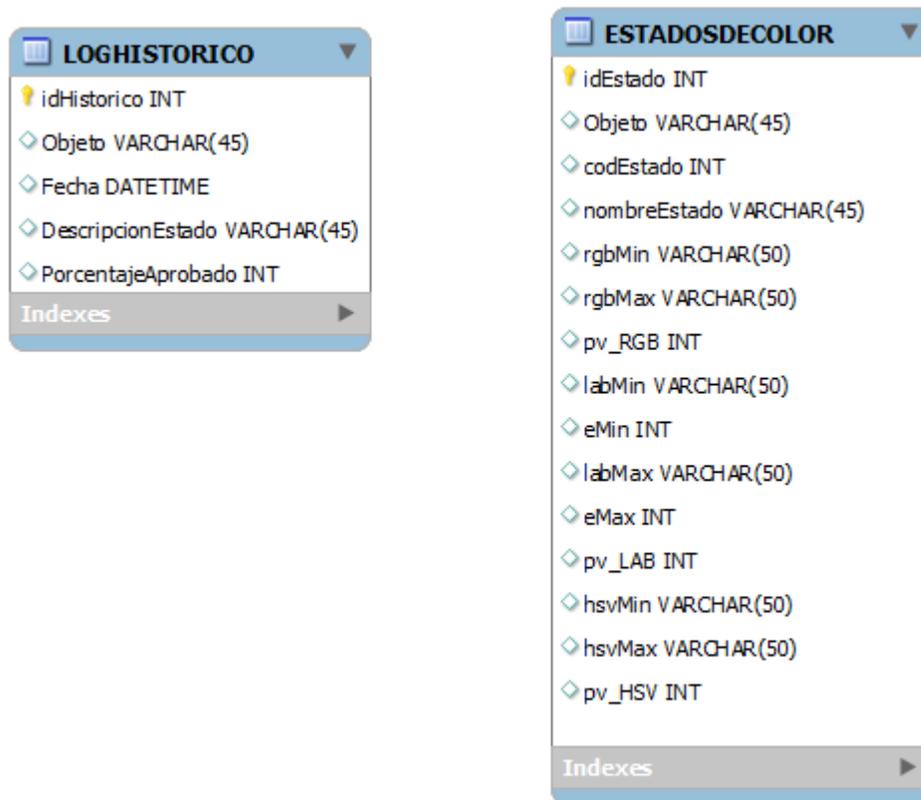


Figura 41. Diagrama Modelo Relacional

7.4.3 Interfaces Graficas de Usuario.

La interface Gráfica de Usuario de la aplicación consta de una gui donde se encuentran los controles principales para gestionar el funcionamiento de la aplicación, y mostrar los resultados del proceso de la aplicación.

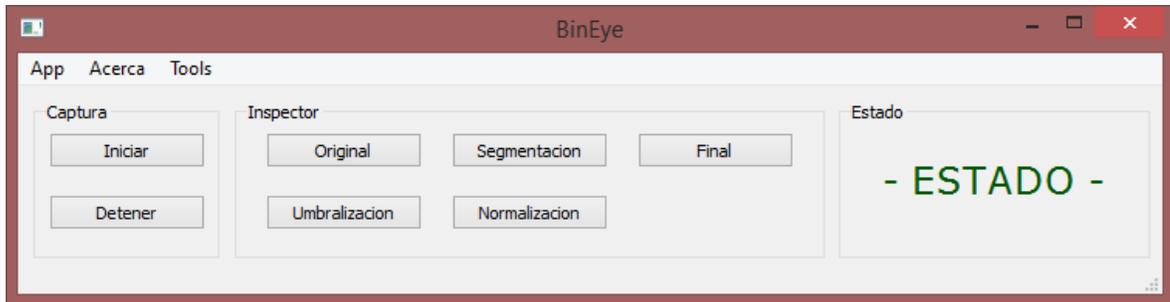


Figura 42. Interface Principal de la Aplicación

El sistema integra una serie de ventanas que muestran los pasos del proceso de Visión Artificial, desde la imagen capturada del feed, pasando por la segmentación, normalización y determinación, hasta obtener el resultado final, de forma tal que se pueda seguir el proceso en todo momento.

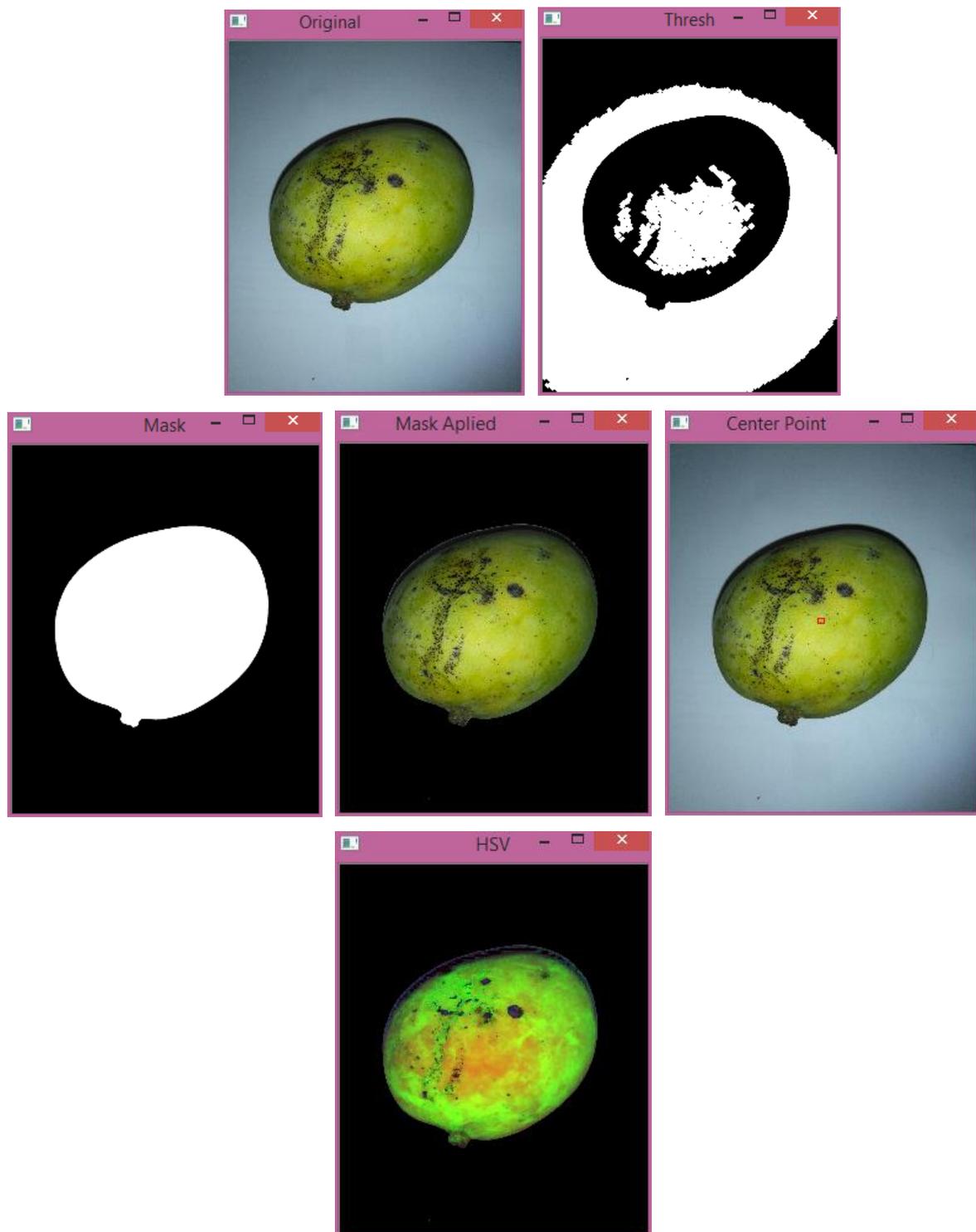
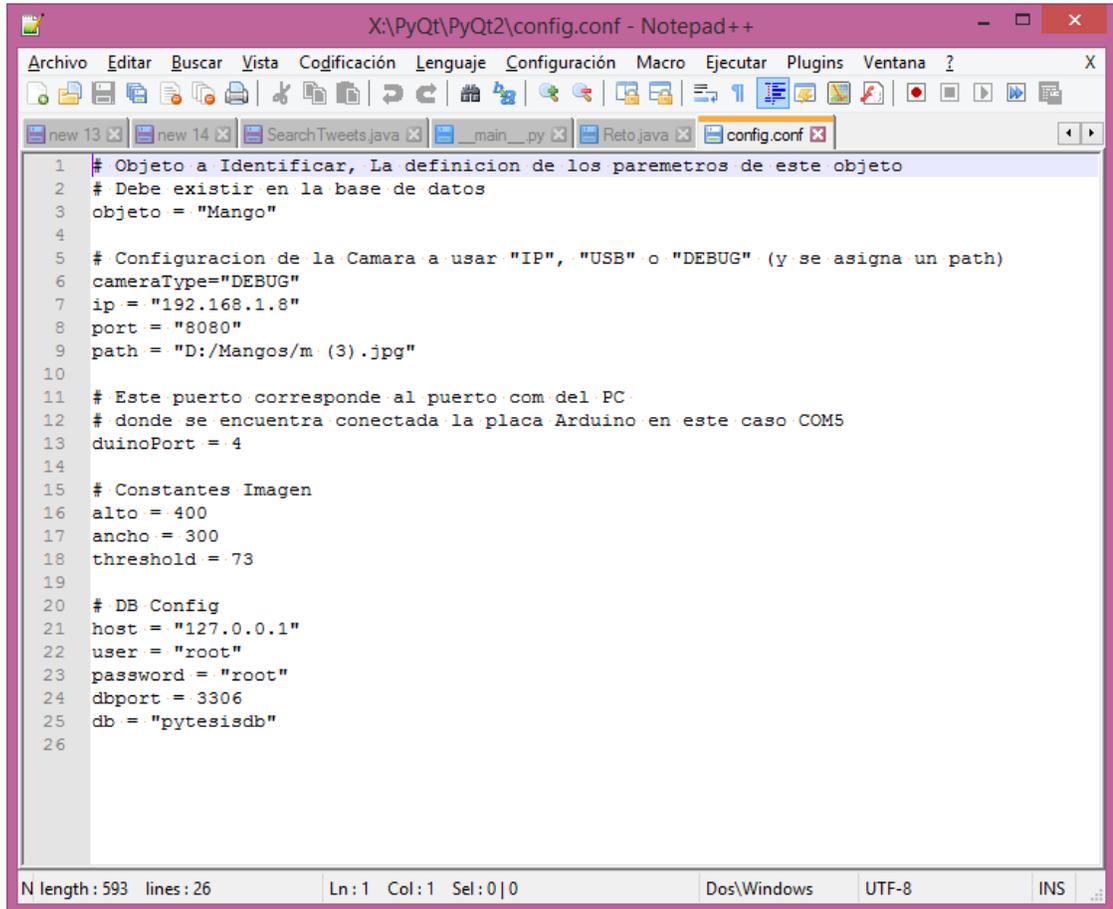


Figura 43. Ventanas de Inspección de Pasos

La aplicación cuenta con un archivo de configuración en texto plano, que determina las rutas o dispositivos a usar para las funciones del software, así como la configuración del acceso a Base de Datos.



```
1 # Objeto a Identificar, La definicion de los parametros de este objeto
2 # Debe existir en la base de datos
3 objeto = "Mango"
4
5 # Configuracion de la Camara a usar "IP", "USB" o "DEBUG" (y se asigna un path)
6 cameraType="DEBUG"
7 ip = "192.168.1.8"
8 port = "8080"
9 path = "D:/Mangos/m (3).jpg"
10
11 # Este puerto corresponde al puerto com del PC
12 # donde se encuentra conectada la placa Arduino en este caso COM5
13 duinoPort = 4
14
15 # Constantes Imagen
16 alto = 400
17 ancho = 300
18 threshold = 73
19
20 # DB Config
21 host = "127.0.0.1"
22 user = "root"
23 password = "root"
24 dbport = 3306
25 db = "pytesisdb"
26
```

Figura 44. Archivo de configuración en texto plano

7.4.4 Código Fuente, Prototipo placa Electrónica.

El Código fuente del micro-controlador usado para la recepción de los comandos desde la aplicación es el siguiente:

Código Fuente Micro-Controlador:

```
#include <LiquidCrystal.h>

// Inicializar las variables a usar
unsigned long serialdata;
int inbyte;

// Intanciar el control para el LCD 16x2
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

void setup() {
  // Iniciar el modulo Serial
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print(".: BinEye .:");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("2016");

  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
}

void loop() {

  getSerial();
  switch (serialdata){
    case 1:
    {
      getSerial();

      if (serialdata == 0){
        limpiar();

        lcd.setCursor(2, 0); // Linea 0, posicion 2
        lcd.print(".: PyTesis .:");
        lcd.setCursor(6, 1); // Linea 1, posicion 2
        lcd.print("2016");
      }
      if (serialdata == 1){
```

```
limpiar();

lcd.setCursor(3, 0); // Linea 0, posicion 2
lcd.print("- ESTADO -");
lcd.setCursor(4, 1); // Linea 1, posicion 2
lcd.print("ESTADO 1");

digitalWrite(4, HIGH);
}
if (serialdata == 2){
limpiar();

lcd.setCursor(3, 0); // Linea 0, posicion 2
lcd.print("- ESTADO -");
lcd.setCursor(4, 1); // Linea 1, posicion 2
lcd.print("ESTADO 2");

digitalWrite(5, HIGH);
}

if (serialdata == 3){
limpiar();

lcd.setCursor(3, 0); // Linea 0, posicion 2
lcd.print("- ESTADO -");
lcd.setCursor(4, 1); // Linea 1, posicion 2
lcd.print("ESTADO 3");

digitalWrite(6, HIGH);
}

break;
}
}
}

void limpiar() {
lcd.clear();
digitalWrite(4, LOW);
digitalWrite(5, LOW);
digitalWrite(6, LOW);
}

long getSerial()
{
```

```

serialdata = 0;
while (inbyte != '/')
{
    inbyte = Serial.read();
    if (inbyte > 0 && inbyte != '/')
    {
        serialdata = serialdata * 10 + inbyte - '0';
    }
}
inbyte = 0;
return serialdata;
}
    
```

7.5 Validar los resultados arrojados por el sistema

Como fue establecido en la metodología de este objetivo, se procedió a realizar las pruebas comparativas entre la Inspección del estado de madurez por el método manual y por el sistema.

Mostrando a continuación los resultados arrojados por las pruebas.

Tabla 22:

Resultados Comparación Manual vs Software

Mango	Días	Inspección Manual (1)	Inspección Manual (2)	Inspección Manual (3)	Inspección Software
1	1	1	1	1	1
1	3	1	1	1	1
1	5	2	1	2	1
1	7	3	3	3	3
1	9	3	3	3	3
1	11	4	3	4	4
2	1	1	1	1	1
2	3	2	2	2	2
2	5	3	3	3	3

2	7	3	3	3	3
2	9	4	4	4	4
2	11	4	4	4	4

En el Apéndice A se muestra las tablas con los resultados completos de las pruebas.

Tabla 23:

Resultados de probabilidad de error del software frente a los estados de madurez seleccionados

Estado de madurez	Probabilidad de error del software
1	0.04716903
2	0.03981050
3	0.03355949
4	0.02826112

Como se puede observar en la tabla 23, los valores probabilísticos para los diferentes estados de madurez del mango no superan el 5% del error, es decir, la probabilidad de que el software se equivoque calculando cada uno de los estados de madurez es inferior al 5%, destacándose que el software tiene mayor precisión estimando el estado de madurez 4. Por tanto, con el cálculo de dicho modelo, se válida que el software de puede ser utilizado con un nivel de probabilidad del 95% de acierto para el cálculo de los diferentes estado de madurez del mango y puede ser implementado en empresas que deseen mayor precisión en los procesos de clasificación y selección mediante visión artificial y el aplicativo de este software. En la siguiente figura, se ilustran muestras de los mangos que fueron usados para las pruebas con el software.

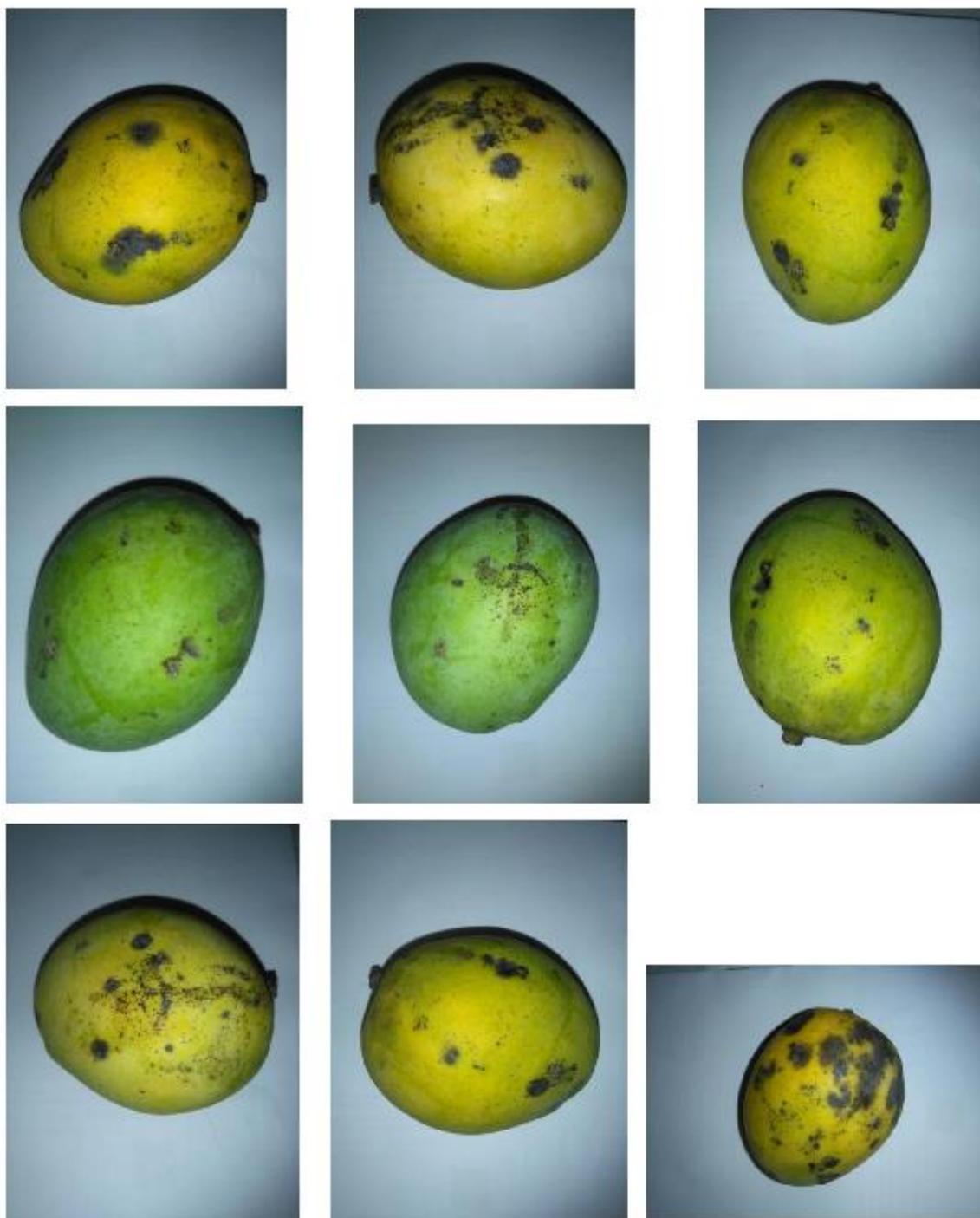


Figura 45. Muestras de Mangos en diferentes estados de Maduración

8. Conclusiones

Se establecieron satisfactoriamente las cotas de comparación para los diferentes estados de madurez del mango de hilacha, en base a la clasificación establecida en la Norma NTC 5139, y se determinaron 4 estados para realizar la detección por medio del software (Verde, Echo, Maduro, Dañado).

La selección del hardware de captura se realizó por medio de una matriz de ponderación, donde se obtuvo que una cámara compatible con BLS (back light support), en su defecto una cámara de celular, es la mejor opción para este proyecto (Para propósitos de demostración), ya que brinda excelente calidad, a un precio moderado y con una asequibilidad muy alta.

Se realizó el diseño de un prototipo compuesto por una caja de cartón con aberturas en la parte frontal y posterior para ingresar la fruta, con una base de fondo blanco, iluminación led fría en el interior de la caja para eliminar las sombras y una abertura superior para ubicar el lente de la cámara para realizar la captura. De igual manera, se desarrolló un prototipo electrónico para mostrar en un display 16x2 el estado de la fruta actual, así como gestionar una serie de actuadores para demostrar las capacidades del sistema.

Se desarrolló un software bajo licencia GPL, libre, funcional y escalable, capaz de determinar el estado de madurez de una fruta por media visión artificial por computador y comparación de colores, que puede ser usado a nivel industrial.

Se realizó la validación del software mediante una regresión logística binaria en donde se determinó satisfactoriamente un modelo probabilístico que permitió estimar valores inferiores a un 5% de error en las observaciones de los diferentes estados de madurez comparados con la inspección manual realizada por los expertos.

En definitiva se alcanzó satisfactoriamente el objetivo del proyecto de desarrollar un sistema capaz de identificar el grado de madurez del Mango de Hilacha (Magdalena River) utilizando el color de la cascara como indicador del estado de maduración de la fruta y estimar el tiempo de vida útil de la misma.

9. Recomendaciones

La selección automática y la clasificación por visión artificial, compone una poderosa herramienta que puede ser implementada con relativamente bajos recursos económicos y que permite ampliar las posibilidades de negocios agrícolas en crecimiento.

Este proyecto podrá servir como base escalable para desarrollar herramientas de clasificación más complejas, y se deja como precedente el desarrollo de un prototipo electrónico y de software que puede ser modificado para ser usado en el proceso de post-cosecha de otras frutas o verduras, así como un prototipo de hardware, que puede ser re-implementado y mejorado para acogerse a las necesidades de quien lo implemente. Sin embargo, se recomienda que en proyectos futuros de escalamiento se controlen muy bien aspectos de calibración en campo, ya que factores externos como la intensidad de luz, el equipo de captura, entre otros elementos, pueden incidir de forma negativa en los resultados arrojados por el software.

Para un entorno industrial, los autores del estudio recomiendan complementar con un sistema de clasificación por banda que puede hacer la tarea de clasificación más eficiente, así mismo en el mismo entorno, se recomienda usar como hardware de captura, la segunda mejor opción, que en este caso sería una Cámara tipo CCD (charge-coupled device) que a pesar de su alto costo y baja asequibilidad, brinda una mayor vida útil en entorno de alta demanda, así como opciones extra al momento de trabajar con imágenes para posterior procesamiento.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, J. A. (2013). Diseño de un sistema de selección de café mediante la caracterización de imágenes. *ENGI Revista Electrónica de la Facultad de Ingeniería*, 1(2).
- Agrawal, S., Verma, N. K., Tamrakar, P., & Sircar, P. (2011). Content based color image classification using svm. *Information Technology: New Generations (ITNG)*.
- Agronet (2013). *Agrocadenas; Mango*. Minagricultura. Recuperado de: <http://www.agronet.gov.co/Paginas/Agrocadenas.aspx>
- Aristizabal, V. (2013). Mangos criollos; características de calidad (Basado en la Norma NTC 5139). *Cenicafé*, Chinchiná, Colombia: SENA.
- Bradski, G. (2000). The opencv library. *Doctor Dobbs Journal*, 25(11), 120-126.
- Bradsky, G., & Kaehler, A. (2008) *Learning Opencv. Computer Vision with the OpenCV Library*. Sebastopol, California, Estados Unidos: O'Reilly Media, Inc.
- Boothroyd, G. (2005). *Assembly automation and product design*, 536. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. Illinois, Estados Unidos: O'Reilly Media, Inc.
- Brosnan, T., & Sun, D. W. (2002). Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems — a review. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2), 193-213.
- Burdon, J., Dori, S., Marinansky, R., & Pesis, E. (1996). Acetaldehyde inhibition of ethylene biosynthesis in mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 8(2), 153-161.
- Castro, A. M., & Salazar, I. P. (2011). *El mango, fruta con excelente oportunidad de exportación*. Recuperado de: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-262683.html>
- Castro Camacho, J. K., Cerquera Peña, N. E., & Gutiérrez Guzmán, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* Cv. Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista EIA*, (19), 79-89.
- Castells, P. E., & Pasola, J. V. (2004). *Tecnología e innovación en la empresa*, 148. España: Universidad Politécnica De Catalunya.

- Deshpande, S. S., & Cheryan, M. (1984). Nondestructive optical methods of food quality evaluation. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 21(4), 323-379.
- FAOstat, F (2013). Agriculture organization of the United Nations. Statistical database.
- FAOstat, F (2006). *The Impact of Post-Harvest Handling Losses*. Recuperado de: <http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/227/en/>.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2008). Digital Image Processing. *Pearson Prentice Hall*.
- Gunasekaran, S. (1996). Computer vision technology for food quality assurance. *Trends in Food Science & Technology*, 7(8), 245-256.
- Habtamu, M. (2008). *Image Analysis for Ethiopian Coffee Classification* (Doctoral dissertation, aau).
- Hannan, M. W., Burks, T. F., & Bulanon, D. M. (2010). A machine vision algorithm combining adaptive segmentation and shape analysis for orange fruit detection. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Guevara-Hernandez, F., & Gomez-Gil, J. (2011). A machine vision system for classification of wheat and barley grain kernels. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 672-680.
- ICONTEC. (2004). *NTC 5139: Frutas Frescas, Mangos Criollos Especificaciones*. Bogotá - Colombia: ICONTEC.
- Kader, A., & Mitcham, B. (2008). Optimum procedures for ripening mangoes. Fruit ripening and ethylene management, 9.
- Mirzaei, H., & Saraee, M. (2007). A new and robust apple evaluation method using image processing. *First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems*. Ferdowsi: University of Mashhad.
- Montes, C., Campos, J., Pons, A., & Heredia, F. J. (2004). Instrumental factors influencing absorption measurements for fluid food color determination. *Journal of AOAC International*, 87(3), 632-638.
- Niño, Z. L. S., & Ortiz, F. A. P. (2007). Caracterización de café cereza empleando técnicas de visión artificial. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 60(2), 4105-4127.
- OpenCV (2016). *Open Computer Vision (s.f.)*. Recuperado de: <http://opencv.org/>
- Rieger, M (2006). *Introduction to fruit crops: Mango (Mangifera indica)*, 19. Haworth Press, Inc.

- Riquelme Torres, M. T. (2008). *Transmisión óptica e imagen en visible e infrarrojo en frutas: ensayo de equipos comerciales*. Recuperado de: <http://oa.upm.es/1469/>
- Silva, L. A., & Lizcano, S. (2011). Evaluación del estado de maduración de la piña en su variedad perolera mediante técnicas de visión artificial. *Iteckne*, 9(1).
- Schewe, J., & Fraser, B. (2007). *A Color Managed Raw Workflow-From Camera to Final Print*. Recuperado de: http://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/color_managed_raw_workflow.
- Sun, D. W. (2011). *Computer vision technology for food quality evaluation*. Academic Press.
- Theodoridis, S., & Koutroumb, K. (2008). Pattern Recognition. *Elsevier Science*.
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2012). Influencia del Estado de Madurez sobre las Propiedades Visco-elásticas de Frutas Tropicales (Mango, Papaya y Plátano). *Información tecnológica*, 23(5), 115-124.
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información tecnológica*, 24(3), 51-56.
- Tillett, R. D. (1990). *Image analysis for agricultural processes*. Masachusets: Division Note DN 1585, Research Institute.
- Velásquez, H. J. C., Laiton, F. A. M., & Marín, E. A. C. (2008). Basic study of the rheological response under unidirectional compression of plantain pulp. *Dyna*, 75(155), 155-161.
- Zhao, J., Tow, J., & Katupitiya, J. (2005). On-tree fruit recognition using texture properties and color data. In *Intelligent Robots and Systems, 2005 IEEE/RSJ International Conference* (pp. 263-268).
- Zheng, W., & Zhu, D. (2011). Chinese gooseberry stage division based on computer vision. *2011 International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)* (pp. 2148-2151).

Apéndice A

Glosario

ARDUINO: Plataforma de prototipado electrónico Open Source basada en hardware y software libre y de fácil uso.

CÁMARA RGB: Cámara digital, que captura imágenes en el espectro RGB, con uno o 3 sensores CCD y por ende entrega 3 señales distintas, una por color.

ESCALA DE GRISES: En computación, la escala de grises es una representación digital de una imagen, donde cada pixel de color, le corresponde un equivalente en una graduación de luminosidad o sombra de gris, al tener una representación de solo 8 bits, en comparación con los 16 bits que componen una imagen común, se hace optima esta representación para tratamiento de imágenes en Visión Artificial.

EXOCARPIO: El exocarpio o epicarpio forma la epidermis protectora del fruto que, a menudo, contiene glándulas con esencias y pigmentos. En muchas frutas se llama comúnmente piel.

FASE DE ADQUISICIÓN: los sensores captan información sobre el exterior. Su aportación a la siguiente fase es una representación cuantitativa y digitalizada de la escena.

FASE DE INTERPRETACIÓN: clasificación de objetos e identificación de escenas en base al valor de sus descriptores.

FASE DE TRATAMIENTO: abarca aspectos como corrección de distorsiones, eliminación de ruido, mejora del contraste, detección de los objetos de interés (segmentación de la imagen) y medición de los descriptores de los objetos (propiedades como tamaño, forma, color, textura, etc.).

FEED: Se reconoce como Feed, a al alimentador de datos brutos de un sistema, en el caso particular de este proyecto un feed puede ser una imagen estática, o una serie de imágenes o frames que componen un video obtenido desde la cámara.

HISTOGRAMA: Grafico de barras generado a partir de los valores representativos de cada pixel de una imagen, contra la frecuencia de aparición de estos. El histograma puede representar tanto un valor particular de cada pixel (Rojo, Verde, Azul, Blanco, Negro), o puede representar fusiones de estos valores (Luminosidad, Magenta, Cian, etc.).

HUMBRAZACION: Método usado para diferenciar un objeto del fondo en una imagen por medio de binarización de la misma, para esto se utiliza el umbral de cada pixel, donde se utiliza una transformación no lineal para convertir imágenes en 0 y 1, o negro y blanco.

OPENCV: Siglas de (Open Computer Vision) es un framework de código abierto que provee una robusta infraestructura para desarrollar aplicaciones de visión artificial y machine learning.

La librería tiene más de 2500 algoritmos, que incluye algoritmos de machine learning y de visión artificial para usar.

PÍXEL: Se refiere a medida visual más pequeña dentro de una imagen y puede determinarse como un punto de la imagen que contiene una serie de valores que determinan su color, luminosidad, profundidad, etc.

PYTHON: Lenguaje de programación multi-paradigma, ampliamente utilizado en aplicaciones científicas de alto rendimiento, gracias a que es fácil de escribir, a su potencia, versatilidad y alto rendimiento al momento de realizar computación compleja.

SENECENCIA: Se denomina senescencia a los cambios relacionales entre los elementos del sistema por el paso del tiempo, una definición más estricta se ceñiría precisamente a aquellas evoluciones en los sistemas que supongan un deterioro del mismo con el paso del tiempo.

TUPLA: Se define como una lista ordenada de elementos enteros no negativos generalmente anotados entre “()” ó “[]” y separados por coma, ejemplo: [2,4,6,9]

VISIÓN ARTIFICIAL: Igualmente conocida como Visión por Computador, hace parte del campo de la inteligencia artificial, y tiene como propósito enseñarle a un computador a “Ver” e “Interpretar” las características y representaciones en imágenes del mundo real capturadas por una cámara.

Apéndice B

Resultados de las Pruebas

Tabla 24:

Resultados Comparación Manual Vs Software (Completo)

Mango	Días	Inspección Manual (1)	Inspección Manual (2)	Inspección Manual (3)	Inspección Software
1	1	1	1	1	1
1	3	1	1	1	1
1	5	2	1	2	1
1	7	3	3	3	3
1	9	3	3	3	3
1	11	4	3	4	4
2	1	1	1	1	1
2	3	2	2	2	2
2	5	3	3	3	3
2	7	3	3	3	3
2	9	4	4	4	4
2	11	4	4	4	4
3	1	1	1	1	1
3	3	1	1	1	1
3	5	2	2	2	2
3	7	3	2	3	3
3	9	3	3	3	3
3	11	4	4	4	4
4	1	1	1	1	1
4	3	1	2	2	1
4	5	2	2	2	2
4	7	3	3	3	3
4	9	3	3	3	3
4	11	4	4	4	4
5	1	1	1	1	1
5	3	1	1	1	1
5	5	2	2	2	2
5	7	3	3	3	3
5	9	3	3	3	3

5	11	4	4	4	4
6	1	1	1	1	1
6	3	1	1	1	1
6	5	2	2	2	2
6	7	3	3	3	3
6	9	3	3	3	3
6	11	4	4	4	3
7	1	1	1	1	1
7	3	1	1	1	2
7	5	2	2	2	3
7	7	3	3	3	3
7	9	3	3	4	4
7	11	4	4	4	4
8	1	1	1	1	1
8	3	1	1	1	1
8	5	2	2	2	2
8	7	3	3	3	3
8	9	3	3	3	3
8	11	4	4	4	4
9	1	1	1	1	1
9	3	1	1	1	1
9	5	2	2	2	2
9	7	3	3	3	3
9	9	3	3	3	3
9	11	4	4	4	4
10	1	1	1	1	1
10	3	1	1	1	1
10	5	2	2	2	2
10	7	3	3	3	3
10	9	3	3	3	3
10	11	4	3	4	4
11	1	1	1	1	1
11	3	1	1	1	1
11	5	2	1	2	2
11	7	3	3	3	3
11	9	3	3	3	3
11	11	4	3	4	4
12	1	1	1	1	1
12	3	1	1	2	1
12	5	2	2	2	1

12	7	3	3	3	3
12	9	3	3	3	3
12	11	4	4	4	3
13	1	1	1	1	1
13	3	1	1	1	1
13	5	2	2	2	1
13	7	3	3	3	3
13	9	3	3	3	3
13	11	4	4	3	4
14	1	1	1	1	1
14	3	1	1	1	1
14	5	2	2	2	2
14	7	3	3	3	3
14	9	3	3	3	3
14	11	3	4	4	4
15	1	1	1	1	1
15	3	1	2	1	1
15	5	2	2	2	2
15	7	3	3	3	3
15	9	3	3	3	3
15	11	4	4	4	4
16	1	1	1	1	1
16	3	1	1	1	1
16	5	2	2	2	2
16	7	3	3	3	3
16	9	3	3	3	3
16	11	4	3	4	4
17	1	1	1	1	1
17	3	1	1	1	1
17	5	2	1	1	1
17	7	3	2	2	3
17	9	3	3	3	3
17	11	4	3	3	3
18	1	1	1	1	1
18	3	1	1	1	1
18	5	2	2	2	2
18	7	3	3	3	3
18	9	3	3	3	3
18	11	4	4	4	4
19	1	1	1	1	1

19	3	1	1	2	1
19	5	2	2	2	2
19	7	3	3	3	3
19	9	3	3	3	3
19	11	4	4	4	4
20	1	1	1	1	1
20	3	1	1	1	1
20	5	2	2	2	1
20	7	3	3	3	3
20	9	3	3	3	3
20	11	4	4	4	4
21	1	1	1	1	1
21	3	1	1	1	1
21	5	2	2	2	2
21	7	3	3	3	3
21	9	3	3	3	3
21	11	4	3	4	4
22	1	1	1	1	1
22	3	1	1	1	1
22	5	2	2	2	2
22	7	3	3	3	3
22	9	3	3	3	3
22	11	4	4	4	4
23	1	1	1	1	1
23	3	1	1	1	1
23	5	2	2	2	2
23	7	3	3	3	3
23	9	3	3	3	3
23	11	4	4	4	4
24	1	1	1	1	1
24	3	1	1	1	1
24	5	2	2	2	3
24	7	3	3	3	3
24	9	3	3	3	3
24	11	4	4	3	4
25	1	1	1	1	1
25	3	1	1	1	1
25	5	2	2	2	2
25	7	3	3	3	3
25	9	3	3	3	3

25	11	3	4	4	4
26	1	1	1	1	1
26	3	1	2	1	1
26	5	2	2	2	2
26	7	3	3	3	3
26	9	3	3	3	3
26	11	4	4	4	4
27	1	1	1	1	1
27	3	1	1	1	1
27	5	2	2	2	2
27	7	3	3	3	3
27	9	3	3	3	3
27	11	4	4	4	4
28	1	1	1	1	1
28	3	1	1	1	1
28	5	2	2	2	2
28	7	3	3	3	3
28	9	3	3	3	3
28	11	4	4	4	4
29	1	1	1	1	1
29	3	1	1	1	1
29	5	2	2	2	2
29	7	3	3	3	3
29	9	3	3	3	3
29	11	4	4	4	4
30	1	1	1	1	1
30	3	1	1	2	1
30	5	2	2	2	3
30	7	3	3	3	3
30	9	3	3	3	3
30	11	4	4	4	4