



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS COMPUTACIONALES

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA REALIZAR UNA CLASIFICACIÓN UNIFORME DE LIMONES”

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero de Sistemas Computacionales

Autor(es):

Br. Eduardo del Castillo Huaccha

Asesor:

Ing. Juan Orlando Salazar Campos

Trujillo – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Eduardo del Castillo Huaccha**, denominada:

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA REALIZAR UNA CLASIFICACIÓN UNIFORME DE LIMONES”

Ing. Juan Orlando Salazar Campos

ASESOR

Ing. José Luis Peralta

JURADO

PRESIDENTE

Ing. Luis Gutiérrez Magan

JURADO

Ing. Geancarlo Leiva Via

JURADO

DEDICATORIA

A mis padres, que se esfuerzan porque cada día me supere a mí mismo.

A mi hermano, quien es ejemplo de dedicación.

A los que ya no están, mas siempre esperaron lo mejor de mí.

Y a los que están y me acompañan en el corto viaje de la vida.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor de tesis Ing. Juan Orlando Salazar Campos, quien con sus aportes iluminó el camino para realizar esta investigación.

A todos mis amigos y familia, quienes con sus aportes contribuyeron a que este proyecto concluya satisfactoriamente.

RESUMEN

La presente tesis planteó como objetivo principal la creación de un sistema de visión artificial que permita realizar una clasificación uniforme de limones. Las formas y dimensiones de los limones a ser analizados están sujetos al códex de la lima-limón de la Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas.

Actualmente se analizó el contexto internacional y nacional determinando que no existe tecnología de información asociada al proceso de clasificación de limones, esto nos brinda la posibilidad de explorar alternativas basadas en áreas de la computación que ayuden en este proceso, tal es el caso de la visión artificial.

Se diseñó una solución siguiendo las fases de visión artificial (adquisición, pre procesamiento, segmentación, descripción y reconocimiento e interpretación), donde se realizó una comparativa entre los algoritmos dentro de cada fase, para identificar cuáles son los que mejor se adaptan a la problemática planteada permitiendo obtener un resultado adecuado.

Luego de haber desarrollado el sistema de visión artificial aplicando los algoritmos seleccionados, se obtuvo como resultado que el sistema tiene una eficacia de 83.9%, una sensibilidad de 82.8% y una especificidad del 100%.

Por otro lado, el tiempo de procesamiento para clasificar un limón es de 0.33 segundos.

Gracias a los resultados obtenidos se pudo comprobar la hipótesis en la que se sostiene que un sistema de visión artificial permite realizar una clasificación uniforme de limones.

Palabras clave: Visión artificial, clasificación de limones.

ABSTRACT

This thesis main objective is to create an artificial vision system able to do a uniform classification of lemons. Sizes and dimensions of lemons are tied to the Lime-lemon codex from the United Nations Food and Agriculture Organization.

Currently the international and national context was analyzed, determining that there is no information technology associated with the lemons classification process, which gives us the possibility to explore alternatives based on areas of computation that helps in this process, such as the artificial vision.

A solution was designed applying the algorithms belonging to the phases of the artificial vision (acquisition, pre-processing, segmentation, description and recognition and interpretation). Also, a comparison was made between the algorithms within each phase to identify which are the ones that has a better fit to this system and give an suitable result.

After having implemented the artificial vision system, using the selected algorithms, it was obtained as a result that the artificial vision system has an efficiency of 83.9%, a sensitivity of 82.8% and a specificity of 100%

On the other hand, the processing time to classify a lemon is of 0.33 seconds.

Thanks to the results obtained it was possible to verify the hypothesis in which it is maintained that an artificial vision system is able to perform a uniform classification of lemons.

Keywords: artificial vision, lemon classification.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Justificación	3
1.4. Limitaciones.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. <i>Procesamiento digital de imágenes</i>	8
2.2.2. <i>Criterios de análisis de visión artificial</i>	23
2.2.3. <i>Limón</i>	28
2.3. Definición de términos básicos.....	35

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS	37
3.1. Formulación de la hipótesis	37
3.2. Operacionalización de variables	37
CAPÍTULO 4. DESARROLLO.....	38
4.1. Captura o adquisición.	38
4.2. Pre-procesamiento.....	39
4.3. Segmentación.....	40
4.4. Descripción.	40
4.5. Reconocimiento e interpretación.....	41
CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS	43
5.1. Tipo de diseño de investigación.	43
5.2. Material de estudio.....	43
5.2.1. <i>Unidad de estudio.</i>	43
5.2.2. <i>Población.</i>	43
5.2.3. <i>Muestra.</i>	44
5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.	44
5.3.1. <i>Para recolectar datos.</i>	44
5.3.2. <i>Para procesar datos.</i>	45
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	46
6.1. Análisis de indicadores	46
<i>Verdadero positivo (VP):</i>	46
<i>Verdadero negativo (VN):</i>	46
<i>Falso positivo (FP):</i>	46
<i>Falso negativo (FN):</i>	47
6.1.1. <i>Indicador 1: Sensibilidad</i>	48
6.1.2. <i>Indicador 2: Especificidad</i>	48
6.1.3. <i>Indicador 3: Tiempo</i>	48
6.1.4. <i>Indicador 4: Eficacia</i>	49
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....	50

CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS.....	53
ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Exportación de limones 2015-2014.....	2
Tabla 2 - Cuadro comparativo entre dispositivos de captura de imágenes.....	24
Tabla 3 - Cuadro detallado de la Operacionalización de las Variables.....	37
Tabla 4 - Escala de calificación para comparación de dispositivos y algoritmos	38
Tabla 5 - Cuadro comparativo de dispositivos propuestos para captura de imágenes	38
Tabla 6 - Cuadro comparativo entre las técnicas de realce de contraste en la fase de pre procesamiento.	39
Tabla 7 - Cuadro comparativo entre las técnicas de reducción de ruido en la fase de pre procesamiento.	39
Tabla 8 - Cuadro comparativo de las técnicas de la fase de segmentación.	40
Tabla 9 - Cuadro comparativo entre técnicas de la fase de Descripción.	40
Tabla 10 - Cuadro comparativo entre técnicas de la fase de Reconocimiento e interpretación.....	41
Tabla 11 – Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.	45
Tabla 12 - Técnicas, procedimientos e instrumentos para procesar datos.	45
Tabla 13 - Cuadro representativo del análisis de sensibilidad.....	47
Tabla 14 - Resultados en cantidades de análisis de sensibilidad.....	47
Tabla 15 - Resultados en porcentajes de análisis de sensibilidad.....	47
Tabla 16 - Tabla de orígenes de valores para el análisis de sensibilidad.	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Ilustración 1 - Representación de histograma	11
Ilustración 2 - Imágenes con el histograma transformado	12
Ilustración 3 - Realce de bordes en Imágenes; (a) Imágenes originales; (b) Imagen con bordes realzados	13
Ilustración 4 - Detección de contornos en Imágenes; (a) Imagen original; (b) Detección con filtro de Sobel; (c) Detección con filtro de Canny	13
Ilustración 5 - Resultado de la erosión.	15
Ilustración 6 - Resultado de la dilatación.	16
Ilustración 7 - Mecanismo de aplicación del filtro de mediana.	16
Ilustración 8 - Segmentación por umbralización de la placa de un automóvil (a) imagen original; (b) Segmentación con umbral de 128.	18
Ilustración 9 - Segmentación por Regiones de la placa de un automóvil; (a) imagen en grises; (b) Imagen binarizada; (c) Segmentación de la imagen por Regiones; (d) Extracción de los seis caracteres.	19
Ilustración 10 - Diámetro de los limones según su clasificación	31
Ilustración 11 – Diagrama de arquitectura de los componentes software interaccionando con el hardware y los resultados obtenidos.	42
Ilustración 12 - Interfaz principal del sistema de visión artificial.	65
Ilustración 13 - Interfaz para análisis masivo.	66
Ilustración 14 - Interfaz de la fase de captura de imagen.	67
Ilustración 15 - Interfaz de la fase de pre-procesamiento.	67
Ilustración 16 - Interfaz de la fase de segmentación.	68
Ilustración 17 - Interfaz de la fase de descripción.	68
Ilustración 18 - Interfaz de la fase de reconocimiento e interpretación.	69

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La clasificación es algo que se puede ver en diversos aspectos de la vida cotidiana y/o profesional, como por ejemplo en el campo de la agricultura, donde, los agricultores clasifican sus productos por tamaño, color o nivel de madurez. En este caso, la clasificación toma mayor importancia pues en base a la venta de estos productos es que los agricultores empiezan a generar sus ingresos, además gracias a la clasificación es que se puede asegurar la calidad del producto que se brinda para el consumo humano.

En el ámbito internacional, en una investigación en la Universidad Complutense de Madrid, se ha encontrado que labores tediosas están limitadas por la capacidad humana, y mediante la automatización pueden ser elaboradas más eficientemente. Agregando que las capacidades humanas pueden ser enfocadas a labores de mayor contribución intelectual. Ruiz (2003) afirma:

“Actualmente, en todos los sectores y en especial en el sector agroalimentario, las exigencias cada vez más rigurosas en cuanto a producción, calidad y presentación de los productos, está haciendo que se requiera la incorporación de tecnologías avanzadas para mejorar la producción. Este hecho unido al factor de que la mano de obra en el sector primario ha sufrido un desplazamiento hacia la industria y al sector servicios, hace que dicha mano de obra sea cada vez más escasa, siendo además poco atractiva para los trabajadores debido al carácter temporal y a la dureza de este tipo de labores. Por estos motivos, la incorporación de máquinas con mayor o menor grado de automatización permite aumentar la producción, diversidad y calidad de los productos, y logra reducir costes debido a la menor mano de obra necesaria.” (p.3)

Por otro lado, en empresas nacionales dedicadas a la comercialización de productos hortofrutícolas, el 10% de los costos de producción son debido a fallos en inspectores humanos al momento de clasificar las frutas, esto se debe a que el margen de error de un humano al clasificar frutas es del 20%. (Huerta, 2011) En base a la empresa BioFruit del Perú S.A.C. calculó que teniendo en cuenta el precio del mango

exportado a 1.04 dólares por kilogramo, de esto 0.5 corresponde a costos de producción y durante el periodo 2007-2008 se exportaron 4 toneladas, entonces las pérdidas ascendieron a 200 mil dólares. (Vega H., 2011).

En el Perú, la exportación de limón se ha incrementado en 25% respecto al total exportado el año pasado llegando a los \$2.4 millones con un precio de \$0.74 kilo promedio (los cuales se generan gracias a las ventas de 19 empresas). (AgroDataPeru, 2016)

EXPORTACION DE LIMON			12			
MES	2015			2014		
	FOB	KILOS	PREC. PROM.	FOB	KILOS	PREC. PROM.
ENERO	190,852	216,074	0.88	164,718	203,695	0.81
FEBRERO	189,036	201,752	0.94	126,399	152,464	0.83
MARZO	236,917	244,851	0.97	185,017	216,507	0.85
ABRIL	212,112	210,572	1.01	182,346	205,553	0.89
MAYO	139,180	149,797	0.93	142,128	156,384	0.91
JUNIO	222,859	215,876	1.03	127,129	150,334	0.85
JULIO	188,964	192,676	0.98	152,509	174,807	0.87
AGOSTO	181,525	326,854	0.56	238,210	239,059	1.00
SEPTIEMBRE	290,665	631,026	0.46	139,892	151,184	0.93
OCTUBRE	209,949	370,061	0.57	238,267	213,027	1.12
NOVIEMBRE	186,080	290,744	0.64	203,553	174,859	1.16
DICIEMBRE	195,043	262,776	0.74	55,245	48,774	1.13
TOTALES	2,443,182	3,313,059	0.74	1,955,413	2,086,647	0.94
PROMEDIO MES	203,599	276,088		162,951	173,887	
% CRECIMIENTO	25%	59%	-21.3%	1%	-2%	3.8%

Tabla 1 - Exportación de limones 2015-2014.

Fuente: <http://www.agrodataperu.com/>

De estos 2,443,182 millones de dólares en ventas anuales, \$792 mil (32%) pertenecen a la empresa Limones Piuranos S.A.C. en donde el proceso de selección de limones se realiza de manera manual y/o análoga (en la cual pasan los limones por una grilla metálica de distintos tamaños para determinar su diámetro y luego son analizados visualmente por los operadores encargados de la clasificación y selección del limón), haciendo que se requiera mayor mano de obra para poder realizarlo, pues luego que la faja transportadora separa los limones por tamaño, el ojo humano se encarga de tomar la decisión final y decidir si el limón va o no va a ser empaquetado para su posterior venta y/o exportación. (Limones Piuranos, 2012)

Por otro lado, la importancia de la clasificación de limones no solo gira en base al punto de vista monetario, sino también a los estándares de calidad y salud. Por este motivo, la Organización de alimentos y agricultura de las Naciones Unidas propone un estándar para la calidad de los limones que se van a exportar. En adición a esto, cada país tiene sus propias normativas para recibir limones de exportación, siendo los principales, el tamaño, color e integridad del fruto.

Todo esto nos da como resultado una necesidad de poder tener uniformidad y eficiencia al momento de clasificar limones por su tamaño, color e integridad, que pueda servir para las empresas que se dediquen a la venta y/o exportación de limones.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo realizar una clasificación uniforme de limones?

1.3. Justificación

La presente investigación es importante porque ayudará a determinar los algoritmos de visión artificial que serán necesarios para poder realizar la clasificación uniforme de limones, la cual servirá para investigadores que busquen integrar software y hardware para poder dar una solución integral a alguna empresa dedicada a la exportación de limones, la cual incluya la selección y clasificación de limones dentro de sus procesos.

Este estudio es relevante pues puede servir como base para realizar la automatización del proceso de clasificación de limones, al integrar esta aplicación con un hardware a medida en un ambiente real para una empresa de comercialización de limones. Al ser esta una investigación libre, no se ha determinado una empresa a la cual aplicar el resultado.

Además, servirá a futuros trabajos sobre visión artificial, sirviendo como base de investigación y mostrando los pasos a seguir para el desarrollo de una aplicación de este tipo. Información que puede ser utilizada por estudiantes o por investigadores de las ciencias de la computación enfocados en la visión artificial.

1.4. Limitaciones

Se usará como base los requerimientos de calidad y clasificación establecidos por la Organización de comida y agricultura de las naciones unidas, a pesar de esto la herramienta software puede ser adaptada para ajustarse a otras normas de calidad y clasificación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Realizar una clasificación uniforme de limones haciendo uso de un sistema de visión artificial.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la sensibilidad del sistema de visión artificial.
- Determinar la especificidad del sistema de visión artificial.
- Determinar la eficacia del sistema de visión artificial
- Evaluar el tiempo que se toma el sistema de visión artificial en detectar y clasificar un limón.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Según la investigación “**Selector de fruta y simulación de una aplicación real**”, realizada por Miriam Fernández Ribot en la Universidad Politécnica de Catalunya, España; en el año 2006. Se planteó generar un sistema de detección de fruta en mal estado para lo cual se usaron técnicas de procesamiento digital de imágenes, como histogramas, operadores morfológicos, etc. Todo esto con el fin de reducir la carga laboral de las personas encargadas de la selección de las frutas de modo visual. La autora plantea una solución usando MatLab, proponiendo los pasos a seguir para poder seleccionar los frutos con el procesamiento digital de imágenes, es decir desde la adquisición de la imagen a través de una cámara digital, pasando por la etapa de segmentación de la imagen usando como base una imagen convertida a HSV (Hue, Saturation, Value o Matíz, saturación y valor), de esta forma se pudo hacer una discriminación entre la tonalidad de la imagen, la saturación y el brillo. Para la segmentación de empleó el uso de umbrales, la selección de un umbral es importante pues determina en gran medida la calidad del resultado final de la segmentación así separó el melocotón de otros elementos en la imagen, como el fondo. A continuación, se realizó el uso del operador morfológico de apertura; una vez en este punto se realiza la detección de contornos, para lo cual se hicieron pruebas con filtros como: Sobel, Prewitt, Roberts y Canny, del cual se usó el primero por dar mejor definición en el bordeado. Hasta este punto es posible detectar picotazos o desagarres en la piel de la fruta, mas surge un nuevo problema, el detectar golpes o abolladuras; para esto se realiza el cómputo de contenedores en histogramas porque al haber una abolladura la fruta adquiere un color entre marrón o negro, lo que podemos identificar en los histogramas. Cabe resaltar que todo este estudio se realizó en un ambiente controlado, con la iluminación necesaria y una posición determinada para el melocotón. En las pruebas realizadas el porcentaje de acierto en la detección de frutos sanos fue de 75% aproximadamente, es oportuno mencionar que los resultados varían de acuerdo a la iluminación, además al haber elegido melocotones para este estudio, por su coloración se encuentran problemas al detectar los umbrales de binarización. El tiempo de respuesta del algoritmo por imagen es de 69.5 segundos por imagen, lo cual se considera no apropiado para desenvolverse en un ambiente industrial.

Esta investigación es de utilidad para el presente proyecto pues demuestra la posibilidad de realizar la clasificación de un fruto mediante la visión artificial, además de indicar los algoritmos que son usados para cada fase del proceso de visión artificial.

Según la investigación **“Sistema de clasificación de papas capiro y canchan teniendo en cuenta su forma, tamaño y daños mecánicos”** realizado por Doris Dixie Pastor Torres en la Universidad Nacional de Ingeniería, en Perú el año 2006. Se encontró que en el mercado actual, la papa es un producto consumido a nivel mundial y cada vez sus derivados son más. Este fenómeno genera la necesidad de mejorar la selección y clasificación de papas para reducir pérdidas por pudrición del producto final. En el Perú se cuenta con máquinas de clasificación mecánica, las cuales se basan en el tamaño más no en defectos físicos. Para la solución se plantea usar una cámara que obtenga una imagen en formato JPG el paso de las papas, luego a través de Matlab se procesa la imagen para obtener el histograma, además la autora presenta una ecualización de histograma, en donde transforma los niveles de gris de la imagen para conseguir que el histograma sea lo más plano posible, gracias a esto se aumenta el contraste y puede revelar detalles ocultos. Además se aplicaron filtros espaciales para mejorar la imagen y resaltar información, para este caso se aplicó el filtro espacial de detección de bordes.

Para una mejor comprensión de los pasos a realizar, la autora de esta investigación, presenta los siguientes pasos a seguir:

1. Ingreso la imagen original.
2. Recorte de la imagen original para eliminar los flecos, ruido, etc, se genera una nueva imagen llamada “big_recorte.jpg”.
3. Se transforma la imagen del paso 2 a una imagen binaria.
4. Se halla el tamaño de la imagen binaria.
5. Se rellena los huecos de la imagen binaria.
6. Se etiqueta la imagen binaria.
7. Se hallan las áreas de las regiones etiquetadas.
8. Se ubica la región de área máxima, en este caso siempre será la papa.
9. Se hallan los vectores posición de la región a la cual hace referencia el paso 8.
10. Se crea una matriz de ceros del tamaño de la imagen binaria.

11. Se dibuja sobre la matriz de ceros la región de mayor área.
12. Se niega el resultado obtenido en el paso 11.
13. Se genera una máscara de tres dimensiones, a partir de la obtenida en el paso 12.
14. Se suma la máscara del paso 13 con la imagen "big_recorte".
15. Se recorta la imagen resultante del paso 14, dejando un margen de 5 píxeles a cada lado de la papa, se hace lo mismo con la imagen obtenida del paso 12.
16. Fin.

Finalmente se concluyó que la eficiencia del sistema para la clasificación de papas es de 96.6% de un total de 295 imágenes evaluadas. Además, recomienda que el ambiente en el que se capture la imagen de la papa sea totalmente blanco para evitar sombras que perjudiquen a la clasificación de la papa.

Esta investigación es de utilidad pues además de indicar los algoritmos computacionales a usar para el proceso de visión artificial, también da un punto de vista macro de los pasos a seguir para lograr realizar la clasificación de papas, lo cual se puede extrapolar y usar para la clasificación de limones.

Según la investigación "**Redes neuronales para el reconocimiento de calidad morfológica de mangos exportables para la empresa Biofruit del Perú SAC**" realizado por Hugo Froilán Vega Huerta en la Universidad Nacional Federico Villareal, en Perú el año 2011. Se determinó que el problema es que al clasificar mangos el margen de error es del 20% y que el 10% de los costos de producción se deben a estos errores de esta forma se planteó reducir el margen de error en el reconocimiento de calidad morfológica de 20% al 5%. Primero se seleccionó una muestra de mangos exportables, luego se tomó una imagen digital de cada mango exportable, y con esta información se empieza a entrenar a la red neuronal, se determinó que el tamaño apropiado para la matriz que contendría la imagen será de 50x50, a continuación se obtuvo el borde de la imagen binarizada y todo esto se almacenó en vectores. Mediante estos vectores, el algoritmo de backpropagation y el reconocimiento de patrones es que se determina si un mango es apto para el empaquetado. Finalmente es que se comprobó que a través del sistema experto el margen de error es de 2.33%, y que la obtención del borde de la imagen nos era muy útil para entrenar adecuadamente a la red neuronal artificial.

Esta investigación da un punto de vista distinto, enfocado a las redes neuronales, pero a pesar de eso deja en claro que de igual manera es necesario aplicar la visión artificial para lograr resultados óptimos, dejando como base algoritmos computacionales de visión artificial empleados para realizar la clasificación de mangos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Procesamiento digital de imágenes

Procesa las imágenes de manera digital por medio de un computador, para realizar esto, se aplican conocimientos de física, matemática, computación. Tiene como objetivo mejorar las imágenes y hacer evidentes detalles que no son notables a simple vista.

2.2.1.1. Imagen digital

Una imagen puede ser definida como una función bidimensional, $f(x,y)$, donde x y y son coordenadas espaciales (plano) y la amplitud f es llamada intensidad o nivel de gris en ese punto. Cuando x,y y f son todos finitos, cantidades discretas, llamamos a la imagen digital.

Una imagen digital está compuesta por un número finito de elementos, cada uno de los cuales, con un valor y una posición particular, llamados píxeles. (Santillán I. D., 2008)

Las imágenes pueden ser **vectoriales**, es decir conservan la nitidez de los bordes y no pierden detalles al redimensionar la imagen.

Además, las imágenes pueden ser **mapa de bits**, cuando constan de un número fijo de píxeles es decir dependen directamente a la resolución de la imagen. Si se redimensiona, se pierde la nitidez; dentro de esta clasificación se pueden encontrar los formatos **TIFF, BMP, GIF, JPEG, PNG**.

2.2.1.2. Tipos de imágenes digitales

- **Imágenes RGB (Red-Green-Blue)**
 - Utilizan tres canales para reproducir los colores en la pantalla.
 - Utilizan 8 bits por canal (8 bits x 3), es decir, 24 bits de color para cada píxel.
 - Reproducen hasta 16,7 millones de colores.
 - Soporta algunos formatos como: JPG, BMP, PNG, etc.

- **Imágenes Indexadas**
 - Reduce los colores de la imagen a un máximo de 256.
 - Admiten los formatos GIF y PNG-8 y muchas aplicaciones multimedia.
 - Reduce el tamaño de archivo porque elimina la información del color.

- **Imágenes en Escala de Grises**
 - Utilizan distintos tonos de gris.
 - En imágenes de 8 bits, puede tener hasta 256 tonos de gris.
 - Cada píxel tiene un valor de brillo comprendido entre 0 (negro) y 255 (blanco).

- **Imágenes Binarias**
 - Tienen una profundidad de color de 1 bit.
 - Utiliza uno de los dos valores de color (blanco o negro) para representar los píxeles de una imagen.

(Santillán I. D., 2008)

2.2.1.3. Orígenes del PDI

La historia del PDI se remonta a la década de los 60 y está directamente ligada con el desarrollo y evolución de las computadoras. Su progreso ha ido de la mano con el desarrollo de las tecnologías de hardware, ya que requiere un alto poder y

recursos computacionales para almacenar y procesar las imágenes. De igual manera el desarrollo de los lenguajes de programación y los sistemas operativos han hecho posible el crecimiento continuo de aplicaciones relacionadas al procesamiento de imágenes, tales como: imágenes médicas, satelitales, astronómicas, geográficas, arqueológicas, biológicas, aplicaciones industriales, entre otras. (Santillán I. D., 2008)

2.2.1.4. Visión artificial

También conocido como visión computacional, son los procesos de obtención, caracterización e interpretación de información de imágenes tomadas de un mundo tridimensional. Estos se dividen en 6 procesos (captura o adquisición, pre procesamiento, segmentación, descripción, reconocimiento, interpretación) y por la complicación de la implementación se agrupan en 3 niveles de visión (bajo, medio, alto).

2.2.1.5. Procesos del PDI

1) Captura o adquisición

En esta primera fase se obtiene la imagen digital por medio de un dispositivo de captura de imágenes (cámara, microscopio, escáner, etc.) (Santillán I. D., 2008)

Características:

- 1. Resolución:** Cantidad de pixeles que contienen las imágenes.
- 2. Memoria:** Espacio virtual en el cual se alojarán las imágenes.
- 3. Compresión de archivos:** Es el grado de compresión de las imágenes, a menos compresión, mayor calidad de imagen.

4. Sistema de transferencia: Método por el cual se pasarán los datos de una cámara a la PC.

2) Pre procesamiento

En esta fase se aplican técnicas de reducción de ruido, realce de contraste, o realce de características de la imagen

1. Técnicas:

1.1. Métodos de realce: Aumentan la calidad subjetiva de la imagen observada por el humano

1.1.1. Transformaciones del histograma:

A través de este método se puede oscurecer, aclarar o aumentar el contraste de la imagen al realizar operaciones matemáticas al histograma original de la imagen.



(a) Imagen original

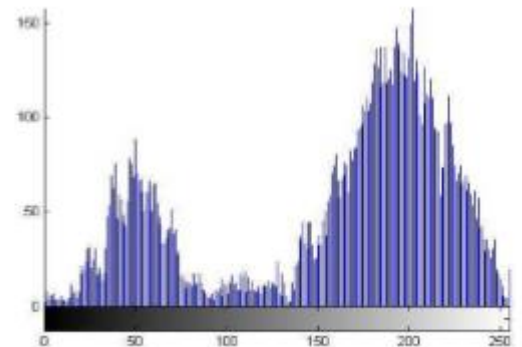


Ilustración 1- Representación de histograma

Fuente: Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando
Matlab

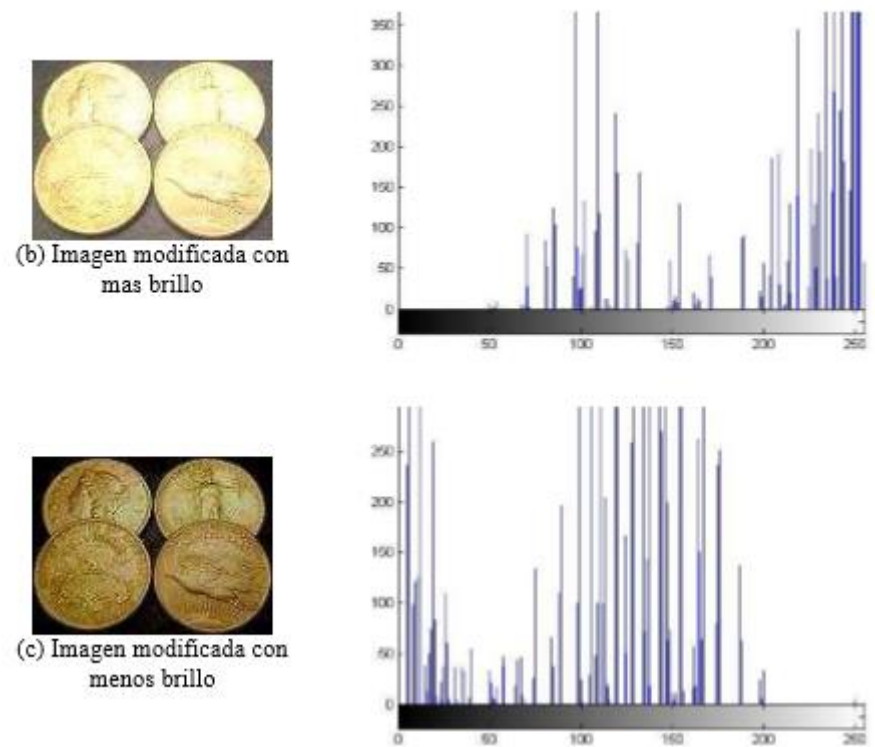


Ilustración 2 -Imágenes con el histograma transformado

Fuente: Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando
Matlab

1.1.2. Acentuado de bordes:

Consiste en resaltar aquellos píxeles que tienen un valor de gris diferente al de sus vecinos. Si la imagen contiene ruido, su efecto se multiplicará, por lo que primero se debe eliminar el ruido. (Santillán I. D., 2008)

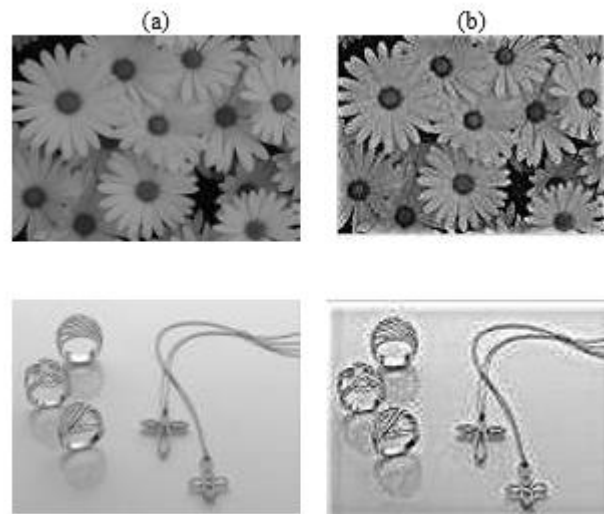


Ilustración 3 - Realce de bordes en Imágenes; (a) Imágenes originales; (b) Imagen con bordes realzados

Fuente: Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando Matlab

1.1.3. Detección de contornos:

En una imagen, los contornos corresponden a los límites de los objetos presentes en la imagen. Para hallar los contornos se buscan los lugares en la imagen en los que la intensidad del píxel cambia rápidamente. (Santillán I. D., 2008)

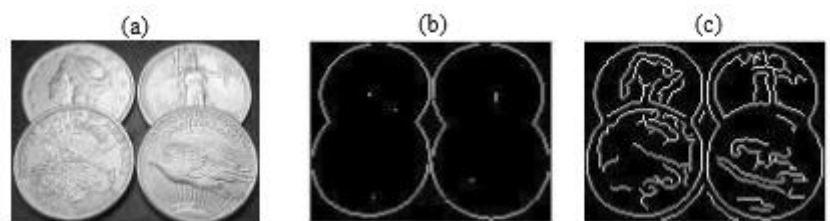


Ilustración 4 - Detección de contornos en Imágenes; (a) Imagen original; (b) Detección con filtro de Sobel; (c) Detección con filtro de Canny

Fuente: Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando Matlab

1.2. Reducción de ruidos mediante filtros:

Sirve para suavizar una imagen al eliminar o reducir significativamente el ruido que esta pueda tener. Es posible también aplicarlo de forma que pueda resaltar información de la imagen.

1.2.1. Apertura

Consiste en realizar una operación de erosión y luego de dilatación, y tiene como objetivo eliminar pixeles aislados dentro de la imagen.

1.2.1.1. Erosión

Es el resultado de comprobar si el elemento estructurante “Y” está totalmente incluido dentro del conjunto “X”. Cuando esto no ocurre, el resultado de la erosión es el conjunto vacío. Su utilidad consiste en definir una geometría determinada por el elemento estructurante y pasarlo sobre la imagen binarizada. Los objetos de menor tamaño que el elemento estructurante no aparecerán en la imagen resultante. Los objetos que queden de la transformación habrán sido degradados. Por tanto, la erosión supone una degradación de la imagen. La aplicación iterativa de esta transformación hará que se eliminen todos los objetos existentes en la imagen.

(Dueñas, 2016)



Ilustración 5 - Resultado de la erosión.

Elaboración: Universidad Nacional del Sur

1.2.1.2. Dilatación

Es la transformación dual a la erosión. El resultado de la dilatación es el conjunto de elementos tal que al menos algún elemento del conjunto estructurante B está contenido en el conjunto X , cuando B se desplaza sobre el conjunto X .

Esta operación representa un crecimiento progresivo del conjunto X . Al pasar el elemento estructurante dentro del conjunto, éste no se modificará. Sin embargo, en la frontera del conjunto X , al desplazar a B , el conjunto resultado se expansionará. La aplicación iterada de este operador haría degradar la imagen, haciendo coincidir el conjunto dilatado con la totalidad del dominio de la imagen. La dilatación también se puede interpretar como el valor máximo del entorno de vecindad definido por el elemento estructurante.

(Dueñas, 2016)



Ilustración 6 - Resultado de la dilatación.

Fuente: Experiencias en la implementación de las operaciones morfológicas de erosión y dilatación para imágenes binarias empleando vecindades adaptativas; MSc.Yosbel Morales Olivera, Josué García Parrado, Pablo E. Reyes Fernández, Dr. Juan V. Lorenzo Ginori.

1.2.2. Filtro de Mediana

Tiene la ventaja de que el valor final del pixel es un valor real presente en la imagen y no un promedio, de este modo se reduce el efecto borroso que tienen las imágenes que han sufrido un filtro de media. Además, el filtro de la mediana es menos sensible a valores extremos.

El inconveniente es que resulta más complejo de calcular ya que hay que ordenar los diferentes valores que aparecen en los pixeles incluidos en la ventana y determinar cuál es el valor central.

(Universidad de Murcia, 2013)



Ilustración 7 - Mecanismo de aplicación del filtro de mediana.

Fuente: Universidad de Murcia

1.2.3. Filtro Gaussiano

El resultado será un conjunto de valores entre 0 y 1. Para transformar la matriz a una matriz de números enteros se divide toda la matriz por el menor de los valores obtenidos.

Son una manera de obtener filtros de tipo genérico. Pueden ser útiles, por ejemplo, cuando se asume que la respuesta espectral de un pixel es función de la reflectividad de los pixeles vecinos atenuada en función de la distancia. El alcance de esta atenuación (r) viene marcado por el tamaño de la ventana de filtrado ($w = 2r + 1$) que debe especificarse previamente.

(Universidad de Murcia, 2013)

3) Segmentación

La segmentación es un proceso que consiste en dividir una imagen digital en regiones homogéneas o similares con respecto a una o más características (como por ejemplo el brillo, el color, tamaño, longitud, forma) con el fin de facilitar su posterior análisis y reconocimiento automático. Es una de las áreas más importantes y complejas de la visión artificial, la cual ha sido estudiada extensamente y continúa siendo tema de discusión. (Santillán I. D., 2008)

1. Técnicas

1.1. Por umbral

La umbralización es un proceso que permite convertir una imagen de niveles de gris o en color en una imagen binaria, de tal forma que los objetos de interés se etiqueten con un valor distinto de los píxeles del fondo.

La umbralización es una técnica de segmentación rápida, que tiene un coste computacional bajo y

que incluso puede ser realizada en tiempo real durante la captura de la imagen usando un computador personal. (Santillán I. D., 2008)

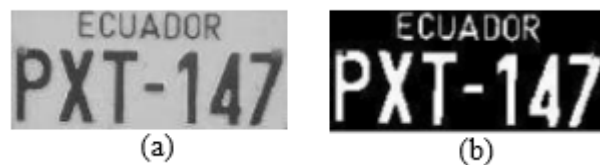


Ilustración 8 - Segmentación por umbralización de la placa de un automóvil (a) imagen original; (b) Segmentación con umbral de 128.

Fuente: Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando Matlab

1.2. Características de regiones

La segmentación por regiones es utilizada para separar los objetos de interés. En este caso, la imagen es particionada en diferentes regiones, quedándose cada una relacionada en ciertas características y conjuntos de píxeles conectados. Así, a partir de la segmentación de la imagen en regiones, pueden ser realizadas las medidas sobre cada región y las relaciones entre las regiones adyacentes pueden ser establecidas.

Sea R la región correspondiente a la imagen que se va a segmentar. Vamos a ver el proceso de segmentación como un proceso en el cual dividimos la región R en n subregiones R_1, R_2, \dots, R_n , tal que:

$$\bigcup_{i=1}^n R_i = R$$

La ecuación indica que la segmentación debe ser completa, es decir, que todo píxel debe estar en una región. (Santillán I. D., 2008)

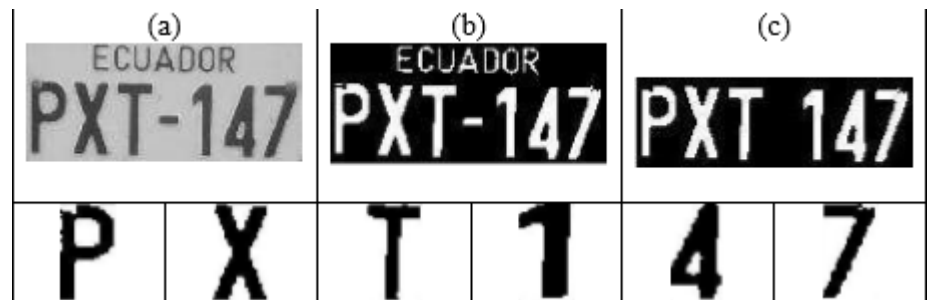


Ilustración 9 - Segmentación por Regiones de la placa de un automóvil; (a) imagen en grises; (b) Imagen binarizada; (c) Segmentación de la imagen por Regiones; (d) Extracción de los seis caracteres.

Fuente: Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando Matlab

4) Descripción

En esta fase se obtienen las características del objeto obtenido en la fase de segmentación, por ejemplo, tamaño, color, forma, etc. (Santillán I. D., 2008)

1. Técnicas

1.1. Descriptores de contorno

Longitud del contorno: es el número de píxeles a lo largo del contorno. Es la cantidad de componentes horizontales + la cantidad de componentes verticales + $\sqrt{2}$ veces la cantidad de componentes diagonales.
Diámetro de un contorno: Se B el contorno de un objeto. se define su diámetro como,

$$Diam(B) = \max_{i,j} [D(p_i, p_j)]$$

Donde $D(p_i, p_j)$ es una medida de distancia.

Esquinas: Son lugares sobre el contorno donde la curvatura $k(B)$ no está acotado, es decir,

$$|k(B)|^2 = \left(\frac{d^2 y}{dB^2} \right)^2 + \left(\frac{d^2 x}{dB^2} \right)^2$$

1.2. Descriptores de región

Área: se define como el número de píxeles encerrados por su contorno (A_0). Perímetro: Es la longitud del contorno de la región (P). Densidad: Este parámetro, también llamado Circularidad se define como,

$$C = \frac{P^2}{A_0}$$

Rectangularidad: se define como la razón entre el área total de la región sobre el área del rectángulo básico de la misma,

$$R = \frac{A_0}{A_R}$$

Ejes principales: se definen como los vectores propios de la matriz de Covarianza obtenida al utilizar los píxeles interiores de la región como variables aleatorias. Los dos vectores propios de esta matriz apuntan en las direcciones de máxima expansión de la región, y están sujetos a la restricción de ser ortogonales. El grado de expansión se mide por los valores propios correspondientes. Este tipo de descriptor es insensible a la rotación, pero depende del cambio de escala. Para compensar este inconveniente, se utiliza a veces, la relación entre los dos valores propios.

(Departamento de electrónica automática y bioingeniería, 2016)

5) Reconocimiento e interpretación

Este proceso identifica el objeto descrito anteriormente en la fase de descripción, por ejemplo, una manzana, una casa, un televisor, etc. (Santillán I. D., 2008)

1. Técnicas

1.1. Adaptación por correlación

Se basa en la comparación de la imagen a clasificar con una o varias imágenes patrón que caracterizan a cada clase. Utilizan medidas de similitud basadas en correlaciones.

(Santillán I. D., 2008)

1.2. Decisión teórica para el reconocimiento

Los métodos de decisión teórica para el reconocimiento se basan en la utilización de funciones de decisión (o discriminantes). Supongamos que $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ representa un patrón vectorial de dimensión n . Para M clases de patrones, w_1, w_2, \dots, w_m , el problema básico en el reconocimiento de patrones por decisión teórica consiste en encontrar M funciones de decisión $d_1(X), d_2(X), \dots, d_M(X)$ que tengan la propiedad que, si un patrón X pertenece a la clase w_i , entonces,

$$d_i(X) > d_j(X) \quad j = 1, 2, \dots, M \quad i \neq j$$

En otras palabras, un patrón desconocido X pertenece a la i -ésima clase de patrones si, al sustituir X en todas las funciones de decisión, $d_i(X)$ toma el mayor valor numérico. En caso de igualdad, los conflictos se resuelven arbitrariamente. La frontera de decisión que separa la clase w_i de la w_j viene dada por valores de X para los que $d_i(X) = d_j(X)$ o, expresado de forma equivalente, por los valores de X para los que,

$$d_i(X) - d_j(X) = 0.$$

La práctica común consiste en hacer que la frontera de decisión entre dos clases sea la función

$$d_{ij}(X) = d_i(X) - d_j(X) = 0.$$

De esta forma, $d_{ij}(X) > 0$ para los patrones de la clase w_i y $d_{ij}(X) < 0$ para los patrones de la clase w_j . El objetivo principal de la presentación de esta sección es desarrollar varias técnicas que permitan encontrar funciones de decisión que satisfagan la primera ecuación. (Departamento de electrónica automática y bioingeniería, 2016)

2.2.1.6. Niveles del PDI

1) Bajo

Esta comprendido por los procesos de adquisición y pre procesamiento, en donde la entrada es una imagen y la salida también.

2) Medio

Se compone por los procesos de segmentación, descripción y reconocimiento. Aquí la salida son los atributos del objeto de la imagen procesada

3) Alto

Compuesto por el proceso de interpretación, y lo que obtenemos aquí es el análisis del objeto de la imagen procesada

2.2.2. Criterios de análisis de visión artificial

2.2.2.1. Captura y adquisición

1) Resolución

Según Santillán (2008), la calidad de la imagen es determinada por el tamaño y profundidad del pixel (resolución espacial y de brillo respectivamente), porque permite distinguir con mayor detalle todo lo que la imagen puede ofrecer.

2) Memoria

A mejor sea este atributo nos permitirá guardar más imágenes como sea posible. Actualmente los dispositivos de adquisición de imágenes tienen memoria interna y ofrecen la capacidad de agregarle una memoria externa.

3) Sistema de transferencia

Es importante conocer la calidad de operación del sistema de transferencia de una cámara para el traspaso de imágenes a la PC. (Santillán I. D., 2008)

4) Velocidad de captura

El manejo correcto de la luz es imprescindible para conseguir una buena fotografía. El control de la luz que incide sobre el material sensible se consigue combinando 2 variables, la abertura del objetivo y la velocidad del obturador. Es el tiempo que el obturador permanece abierto para dejar pasar la luz al sensor.

(Fernández-Bozal, 2017)

Comparación entre los dispositivos:

DISPOSITIVO / CRITERIO	CÁMARA VGA	CÁMARA SAMSUNG S5	CÁMARA DIGITAL Lumix DMC-ZS45
Resolución	0.3 MP	De 2.4 a 16 MP	16 MP
Memoria	Sujeto a la capacidad de almacenamiento de la PC a la que esté conectada	8GB memoria del dispositivo, expandible a 32 GB	78MB memoria integrada, 16GB memoria externa
Sistema de transferencia	USB 2.0	USB 3.0	USB 2.0
Velocidad de captura	0.80 fps (imágenes por segundo, a más imágenes, se obtendrá una mejor calidad de video.)	30 fps	30 fps a 60 fps

Tabla 2 - Cuadro comparativo entre dispositivos de captura de imágenes.

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.2. Pre-procesamiento

1) Técnicas de realce de contraste

a) Complejidad computacional

Estudia los recursos requeridos para resolver un problema como son el tiempo y el espacio (Cortéz, 2004). Para este estudio se busca encontrar una función de baja complejidad computacional y que pueda dar los resultados esperados en el menor tiempo posible.

b) Distribución uniforme de niveles de gris

En una imagen en niveles de gris sus valores están representados entre $[0, 255]$, en donde el 0 representa el color

negro y el 255 el color blanco, dado que en ese intervalo se ubican todas las intensidades o grises disponibles en la imagen. Por consiguiente, para lograr un buen realce de contraste se debe uniformizar los niveles de gris en la imagen. (López & Cañas, 2007)

c) Realce de pixeles de interés

Esta característica busca realzar las características de brillo y contraste de una imagen, reducir o intensificar los detalles presentes.

(Aldalur & Santamaría, 2017)

2) Técnicas de binarización

a) Adecuado para Histogramas bimodales

En un histograma bimodal existen dos agrupaciones de niveles que aparecen con frecuencia en una imagen. Una presenta al color claro y otro al oscuro. Una vez determinadas estas dos agrupaciones, el nivel de gris equidistante entre ambas, resultaría un nivel de umbral adecuado.

(Vanacloig, 2017)

b) Adecuado para imágenes estáticas

Las imágenes estáticas tienen gran importancia en las aplicaciones multimedia, su finalidad es ilustrar y facilitar la comprensión de la información que se desea transmitir. Rodríguez Diéguez (1996) indica que la imagen puede realizar seis funciones distintas: representación, alusión, enunciativa, atribución, catalización de experiencias y operación. Podemos distinguir diferentes tipos de imágenes: fotografías, representaciones gráficas, fotogramas, ilustraciones, etc.

(Belloch, 2017)

3) Técnicas de reducción de ruido

a) Preservación de bordes

Consiste en resaltar aquellos píxeles que tienen un valor de gris diferente al de sus vecinos. Si la imagen contiene ruido, su efecto se multiplicará, por lo que primero se debe eliminar el ruido.

(Santillán I. D., 2008)

b) Ruido impulsivo

El valor que toma el píxel no tiene relación con el valor ideal, sino con el valor del ruido que toma valores muy altos o bajos (puntos blancos y/o negros) causados por una saturación del sensor o por un valor mínimo captado, si se ha perdido la señal en ese punto.

(Santillán I. D., 2008)

c) Suavizado uniforme

Este proceso se relaciona con la reducción de las transiciones fuertes. Un efecto que tiene este grupo de filtros es la reducción de ruido, a costa de la pérdida de algunos detalles.

(Ortíz, 2013)

2.2.2.3. Segmentación

1) Selección de umbral

Se selecciona un umbral que permita agrupar los píxeles de una imagen pertenecientes a los diversos objetos de la misma imagen diferenciándolos del fondo. De esta manera la segmentación basada en el histograma se basa en la elección de uno o varios umbrales que permiten agrupar los puntos de la imagen en regiones de características similares en función de sus niveles de gris.

(Palomino & Concha, 2009)

2) Ecuaciones analíticas

Consiste en calcular el gradiente de una imagen, luego crear un campo de acumulación en función de los parámetros de la función que se busca, y posteriormente los máximos en el espacio de acumulación indican la existencia de los objetos buscados.

(Palomino & Concha, 2009)

2.2.2.4. Descripción

1) Cantidad de píxeles en el objeto

Según García Santillán (2008), nos sirve para detectar área, perímetro y centroide, es decir, los rasgos geométricos de un objeto.

(Santillán E. G., 2008)

2) Homogeneidad en el objeto

Busca la región actual donde los elementos son homogéneos con respecto al espacio de características. La mayoría de los procesos relevantes que implementan la Decisión mediante estas técnicas, son procesos iterativos.

(Azouzi, 2005)

2.2.2.5. Reconocimiento e interpretación

1) Comparación de descriptores de objetos

Se basa en la comparación de la imagen a clasificar con una o varias imágenes patrón que caracterizan a cada clase. Utilizan medidas de similitud basadas en correlaciones.

(Santillán I. D., 2008)

2) Búsqueda por proximidad

Grado de pertenencia de un patrón a cada una de las clases existentes, asignando el objeto a aquellas clases con las que el grado de semejanza sea mayor. A este efecto se definen las funciones discriminantes o funciones de decisión como aquellas

funciones que asignan grados de semejanza de patrón a cada una de las diferentes clases.

Por ejemplo, en un sistema que controla una cinta transportadora por la que circulan monedas y llaves, se desea que cuente cuántas unidades hay de cada tipo.

(Santillán I. D., 2008)

2.2.3. Limón

La Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas determinó la siguiente norma para la lima limón (Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas, 2007):

NORMA DEL CODEX PARA LA LIMA-LIMÓN

1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Esta Norma se aplica a las variedades comerciales de limas-limones obtenidas de *Citrus latifolia* Tanaka, de la familia rutaceae, que habrán de suministrarse frescas al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluyen las limas-limones destinadas a la elaboración industrial.

2. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CALIDAD

a) Requisitos mínimos

En todas las categorías, a reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, las limas-limones deberán:

- Estar enteras.
- Estar sanas, y exentas de podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptas para el consumo.
- Estar limpias, y prácticamente exentas de cualquier materia extraña visible.
- Estar prácticamente exentas de plagas que afecten al aspecto general del producto.

- Estar prácticamente exentas de daños causados por plagas; – estar exentas de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica.
- Estar exentas de cualquier olor y/o sabores extraños.
- Ser de consistencia firme.
- Estar exentas de daños causados por bajas temperaturas.
- Estar prácticamente exentas de magulladuras.
- Estar sin semillas.

(1) Las limas-limones deberán haberse recolectado cuidadosamente y haber alcanzado un grado apropiado de desarrollo y madurez, de conformidad con los criterios peculiares de la variedad y la zona en que se producen. El desarrollo y condición de las limas-limones deberán ser tales que les permitan:

- Soportar el transporte y la manipulación.
- Llegar en estado satisfactorio al lugar de destino.

(2) Contenido mínimo de sumo (jugo) y coloración El contenido mínimo de zumo (jugo) se calcula con relación al peso total del fruto. Contenido mínimo de zumo (jugo): 42 % La coloración deberá ser la típica de la variedad por lo menos en dos tercios de la superficie del fruto. El fruto deberá ser verde, pero podrá presentar decoloraciones (manchas amarillas) hasta en el 30 % de su superficie.

b) Clasificación

Las limas-limones se clasifican en tres categorías, según se definen a continuación:

(1) Categoría “Extra”

Las limas-limones de esta categoría deberán ser de calidad superior y características de la variedad. No deberán tener defectos, salvo defectos superficiales muy leves siempre y

cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase.

(2) Categoría I

Las limas-limones de esta categoría deberán ser de buena calidad y característicos de la variedad. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase:

- Defectos leves de forma.
- Defectos leves de coloración.
- Defectos leves de la cáscara que no excedan de 1 cm².

En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.

(3) Categoría II

Esta categoría comprende las limas-limones que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados en la sección de requisitos mínimos. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos, siempre y cuando las limas-limones conserven sus características esenciales en lo que respecta a su calidad, estado de conservación y presentación:

- defectos de forma.
- defectos de coloración.
- defectos de la cáscara que no excedan de 2 cm².

En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.

3. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CLASIFICACIÓN POR CALIBRES

El calibre se determina por el diámetro máximo de la sección ecuatorial del fruto, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Código de calibre	Diámetro (mm)
1	58 – 67
2	53 – 62
3	48 – 57
4	45 – 52
5	42 – 49

Ilustración 10 - Diámetro de los limones según su clasificación

Fuente: Codex Alimentarius – Frutas y Hortalizas Frescas

La lima-limón puede envasarse por número de frutos. En este caso, siempre que se mantenga la homogeneidad de calibres exigida por la Norma, la gama de calibres contenida en el envase puede no corresponder a un único código de calibre, sino comprender dos códigos consecutivos. Se excluye la lima-limón de un diámetro inferior a 42 mm. La homogeneidad en el calibre corresponde a la escala de calibres indicada más arriba, excepto en los siguientes casos:

- (i) Para los frutos dispuestos en capas regulares en el envase, incluidos los envases unitarios destinados a la venta al consumidor, la diferencia entre el fruto más pequeño y el más grande, en un único código de calibre o, en el caso de la lima-limón envasada por número de frutos, en dos códigos consecutivos, no deberá superar los 7 mm (para códigos de calibre del 1 a 5).
- (ii) Para los frutos que no se presentan en capas regulares en los envases y los frutos presentados en envases unitarios rígidos destinados a la venta directa al consumidor, la diferencia entre el fruto más pequeño y el más grande contenidos en un mismo envase no deberá superar la gama de la categoría de calibre apropiada en la escala de calibres o, en el caso de la lima-limón envasada por número de frutos, la gama en milímetros de uno de los dos códigos consecutivos pertinentes.

- (iii) para los frutos presentados en envases a granel y los frutos presentados en envases unitarios no rígidos (redes, bolsas) destinados a la venta directa al consumidor, la diferencia entre el fruto más pequeño y el más grande contenidos en un mismo lote o envase, no deberá superar la gama que se obtenga agrupando tres calibres consecutivos en la escala de calibres.

4. DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS TOLERANCIAS

En cada envase se permitirán tolerancias de calidad y calibre para los productos que no satisfagan los requisitos de la categoría indicada.

a) Tolerancias de calidad

i) Categoría “Extra”

El 5 %, en número o en peso, de las limas-limones que no satisfagan los requisitos de esta categoría, pero satisfagan los de la Categoría I o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

ii) Categoría I

El 10 %, en número o en peso, de las limas-limones que no satisfagan los requisitos de esta categoría pero satisfagan los de la Categoría II o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

iii) Categoría II

El 10 %, en número o en peso, de las limas-limones que no satisfagan los requisitos de esta categoría ni los requisitos mínimos, con excepción de los productos afectados por podredumbre o cualquier otro tipo de deterioro que haga que no sean aptos para el consumo.

- b) Tolerancias de calibre Para todas las categorías, el 10 %, en número o en peso, de las limas-limones que correspondan al calibre inmediatamente superior o inferior al indicado en el envase. En ningún caso podrá el diámetro ser inferior a 40 mm.

5. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA PRESENTACIÓN

a) Homogeneidad

El contenido de cada envase deberá ser homogéneo y estar constituido únicamente por limas-limones del mismo origen, variedad, calidad y calibre. Para la Categoría “Extra” el color deberá ser homogéneo. La parte visible del contenido del envase deberá ser representativa de todo el contenido.

b) Envasado

Las limas-limones deberán envasarse de tal manera que el producto quede debidamente protegido. Los materiales utilizados en el interior del envase deberán ser nuevos², estar limpios y ser de calidad tal que evite cualquier daño externo o interno al producto. Se permite el uso de materiales, en particular papel o sellos, con indicaciones comerciales, siempre y cuando estén impresos o etiquetados con tinta o pegamento no tóxico. Las limas-limones deberán disponerse en envases que se ajusten al Código internacional de Prácticas recomendado para el Envasado y transporte de Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 44-1995, Emd. 1-2004).

- i) Descripción de los envases Los envases deberán satisfacer las características de calidad, higiene, ventilación y resistencia necesarias para asegurar la manipulación, el transporte y la conservación apropiados de las limas-limones. Los envases deberán estar exentos de cualquier materia y olor extraños.

6. MARCADO O ETIQUETADO

- a) Envases destinados al consumidor Además de los requisitos de la norma general del Codex para el Etiquetado de Alimentos Preenvasados (CODEX STAN 1-1985, Rev. 1-1991), se aplicarán las siguientes disposiciones específicas:

- i) Naturaleza del producto Si el producto no es visible desde el exterior, cada envase deberá etiquetarse con el nombre del producto y, facultativamente, con el de la variedad.

- b) Envases no destinados a la venta al por menor Cada envase deberá llevar las siguientes indicaciones en letras agrupadas en el mismo lado, marcadas de forma legible e indeleble y visibles desde el exterior, o bien en los documentos que acompañan el envío.
 - i) Identificación Nombre y dirección del exportador, envasador y/o expedidor. Código de identificación (facultativo)3.
 - ii) Naturaleza del producto Nombre del producto si el contenido no es visible desde el exterior. Nombre de la variedad (facultativo).
 - iii) Origen del producto País de origen y, facultativamente, nombre del lugar, distrito o región de producción.
 - iv) Especificaciones comerciales
 - Categoría.
 - Calibre (código de calibre o diámetros mínimo y máximo en mm).
 - Peso neto (facultativo).
 - Código de calibre (o, si los frutos envasados según el número de frutos llevan dos códigos consecutivos, códigos de calibre o diámetro mínimo y máximo en mm) y número de frutos, en el caso de frutos dispuestos en capas en el envase.
 - v) Marca de inspección oficial (facultativa)

7. CONTAMINANTES

- a) Metales pesados Las limas-limones deberán cumplir con los niveles máximos para metales pesados establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius para este producto.
- b) Residuos de plaguicidas Las limas-limones deberán cumplir con los límites máximos para residuos de plaguicidas establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius para este producto.

8. HIGIENE

- a) Se recomienda que el producto regulado por las disposiciones de la presente Norma se prepare y manipule de conformidad con las secciones apropiadas del Código internacional recomendado de

Prácticas – Principios generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969, Rev. 4-2003), Código de Prácticas de Higiene para Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 53-2003) y otros textos pertinentes del Codex, tales como códigos de prácticas y códigos de prácticas de higiene.

- b) Los productos deberán ajustarse a los criterios microbiológicos establecidos de conformidad con los Principios para el Establecimiento y la Aplicación de Criterios Microbiológicos a los Alimentos (CAC/GL 21-1997).

(Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas, 2007)

2.3. Definición de términos básicos

- **PDI:** Procesamiento Digital de Imágenes. Procesa las imágenes de manera digital por medio de un computador, para realizar esto, se aplican conocimientos de física, matemática, computación. Tiene como objetivo mejorar las imágenes y hacer evidentes detalles que no son notables a simple vista.
- **Histograma:** Gráfico de la representación de distribuciones de frecuencias, en el que se emplean rectángulos dentro de unas coordenadas.
- **TIFF:** es un formato de imágenes de mapa de bits. Aún existe en la industria gráfica y en la fotográfica por su versatilidad y compresión no destructiva.
- **BMP:** es un formato de imagen de mapa de bits, se usa para imágenes de baja calidad y muchas compañías la ocupan para el patrocinio de sus productos
- **GIF:** es un formato gráfico utilizado ampliamente en la World Wide Web, tanto para imágenes como para animaciones.
- **JPEG:** Es un formato de archivo comprimible con posibilidades de escalamiento para producir archivos reducidos.
- **PNG:** Portable Network Graphics, un formato de compresión de imágenes que sirve de sustituto del formato .gif.
- **Sistema de visión artificial:** Sistema que realiza el análisis de las imágenes de limones en base a la visión artificial, la cual busca comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información digital que pueda ser tratados por un computador.
- **Clasificación uniforme de limones:** Proceso por el cual los limones son evaluados para ser clasificados en base a un estándar de exportación.

- **Sensibilidad:** es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo cuyo estado real sea el definido como positivo respecto a la condición que estudia la prueba, razón por la que también es denominada fracción de verdaderos positivos (FVP).

Sensibilidad= $\text{Positivos Verdaderos} / (\text{Positivos Verdaderos} + \text{Falsos Negativos})$
(I & S, 1998)

- **Especificidad:** es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo cuyo estado real sea el definido como negativo. Es igual al resultado de restar a uno la fracción de falsos positivos (FFP).

Especificidad= $\text{Negativos Verdaderos} / (\text{Negativos Verdaderos} + \text{Positivos Falsos})$
(I & S, 1998)

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

Un sistema de visión artificial permite realizar una clasificación uniforme de limones.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Sistema de visión artificial	Sistema que realiza el análisis de las imágenes de limones en base a la visión artificial, la cual busca comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información digital que pueda ser tratados por un computador.	Sensibilidad Especificidad Tiempo	Porcentaje de sensibilidad Porcentaje de especificidad. Tiempo utilizado para la clasificación de los limones.
Clasificación uniforme de limones	Proceso por el cual los limones son evaluados para ser clasificados en base a un estándar de exportación.	Eficacia	Porcentaje de limones correctamente clasificados.

Tabla 3 - Cuadro detallado de la Operacionalización de las Variables.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO.

En el presente capítulo se van a comparar los algoritmos, técnicas y métodos disponibles para cada proceso del procesamiento digital de imágenes. Los algoritmos seleccionados serán empleados para la creación del sistema de visión artificial para realizar una clasificación uniforme de limones.

El criterio de evaluación para los procesos a continuación está basado en una escala del 0 al 5.

0	1	2	3	4	5
No aplica	Malo	Regular	Normal	Bueno	Muy bueno

Tabla 4 - Escala de calificación para comparación de dispositivos y algoritmos

Fuente: Elaboración Propia.

4.1. Captura o adquisición.

Las descripciones de las características de estos dispositivos tienen lugar en el marco teórico, apartado 2.2.2.1.

DISPOSITIVO CRITERIO	CÁMARA VGA	CÁMARA SAMSUNG S5	CÁMARA DIGITAL Lumix DMC-ZS45
Resolución	1	4	5
Memoria	5	5	5
Sistema de transferencia	5	5	5
Velocidad de captura	3	5	5
TOTAL	14	19	20

Tabla 5 - Cuadro comparativo de dispositivos propuestos para captura de imágenes

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la cámara digital sería la que debe usarse. Sin embargo, considerando que la cámara del smartphone también puede dar buenos

resultados y por motivos presupuestales se usará el dispositivo con el que ya se cuenta, por lo tanto, el dispositivo seleccionado para realizar la captura de la imagen es: **Cámara Samsung S5**

4.2. Pre-procesamiento.

Realce de contraste

ALGORITMOS CRITERIO	Transformación del histograma	Acentuado de bordes	Detección de contornos
Complejidad computacional	4	2	1
Distribución uniforme de niveles de gris en la imagen	4	3	3
Realce de pixeles de interés	3	3	4
TOTAL	11	8	8

Tabla 6 - Cuadro comparativo entre las técnicas de realce de contraste en la fase de pre procesamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos, la técnica de realce de contraste que se debería emplear es la de **transformación por histograma**, y se aplicará una transformación a canales HSV, con la finalidad de tener una imagen más limpia con respecto al contraste, saturación y brillo y poder segmentar correctamente.

Reducción de ruido

ALGORITMOS CRITERIO	Apertura (Erosión, Dilatación)	Filtro de Mediana	Filtro Gaussiano
Preserva bordes	3	3	2
Reduce ruido impulsivo	2	2	4
Suavizado uniforme	3	2	4
TOTAL	8	7	10

Tabla 7 - Cuadro comparativo entre las técnicas de reducción de ruido en la fase de pre procesamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos, la técnica de reducción de ruido a emplear será la de **Filtro Gaussiano**, mediante este se busca reducir el ruido en la imagen y poder segmentar correctamente.

4.3. Segmentación.

ALGORITMOS CRITERIO	Por umbral	Por características de regiones
Selección de umbral	5	4
Ecuaciones analíticas	5	2
TOTAL	10	6

Tabla 8 - Cuadro comparativo de las técnicas de la fase de segmentación.

Fuente: Elaboración propia.

La técnica seleccionada en la fase de descripción es la de **Umbral**, se está considerando también que el coste computacional es bajo. Además, la técnica por regiones no es necesario pues se analizará un objeto (limón) por imagen, no hay necesidad de usar una técnica que apunta a segmentar y encontrar varios objetos, y que además tiene un coste computacional mayor respecto a la técnica por umbral.

4.4. Descripción.

ALGORITMOS CRITERIO	Descriptores de contorno	Descriptores de región
Dependencia de cantidad de píxeles en el objetivo	3	4
Uso de clustering	3	3
Homogeneidad del objeto	1	2
TOTAL	7	9

Tabla 9 - Cuadro comparativo entre técnicas de la fase de Descripción.

Fuente: Elaboración Propia

La técnica seleccionada en la fase de descripción es la de **Descriptores de región**. Y resulta de gran utilidad pues la imagen del limón está compuesta por muchos píxeles verdes, los que ahora ayudan a la descripción del objeto.

4.5. Reconocimiento e interpretación.

ALGORITMOS CRITERIO	Decisión teórica para el reconocimiento	Adaptación por correlación
Comparación de descriptores	3	3
Búsqueda por proximidad	4	1
TOTAL	7	4

Tabla 10 - Cuadro comparativo entre técnicas de la fase de Reconocimiento e interpretación.

Fuente: Elaboración Propia.

La técnica seleccionada en la fase de reconocimiento e interpretación es la de **Decisión teórica para el reconocimiento**. La desventaja presente con la adaptación por correlación es que la forma de un limón siempre varía, por lo que tener una base de datos pre definida con limones para realizar la comparación no es una solución óptima. En este caso se aplica una máscara circular para reconocer el diámetro del limón analizado y determinar su calibre.

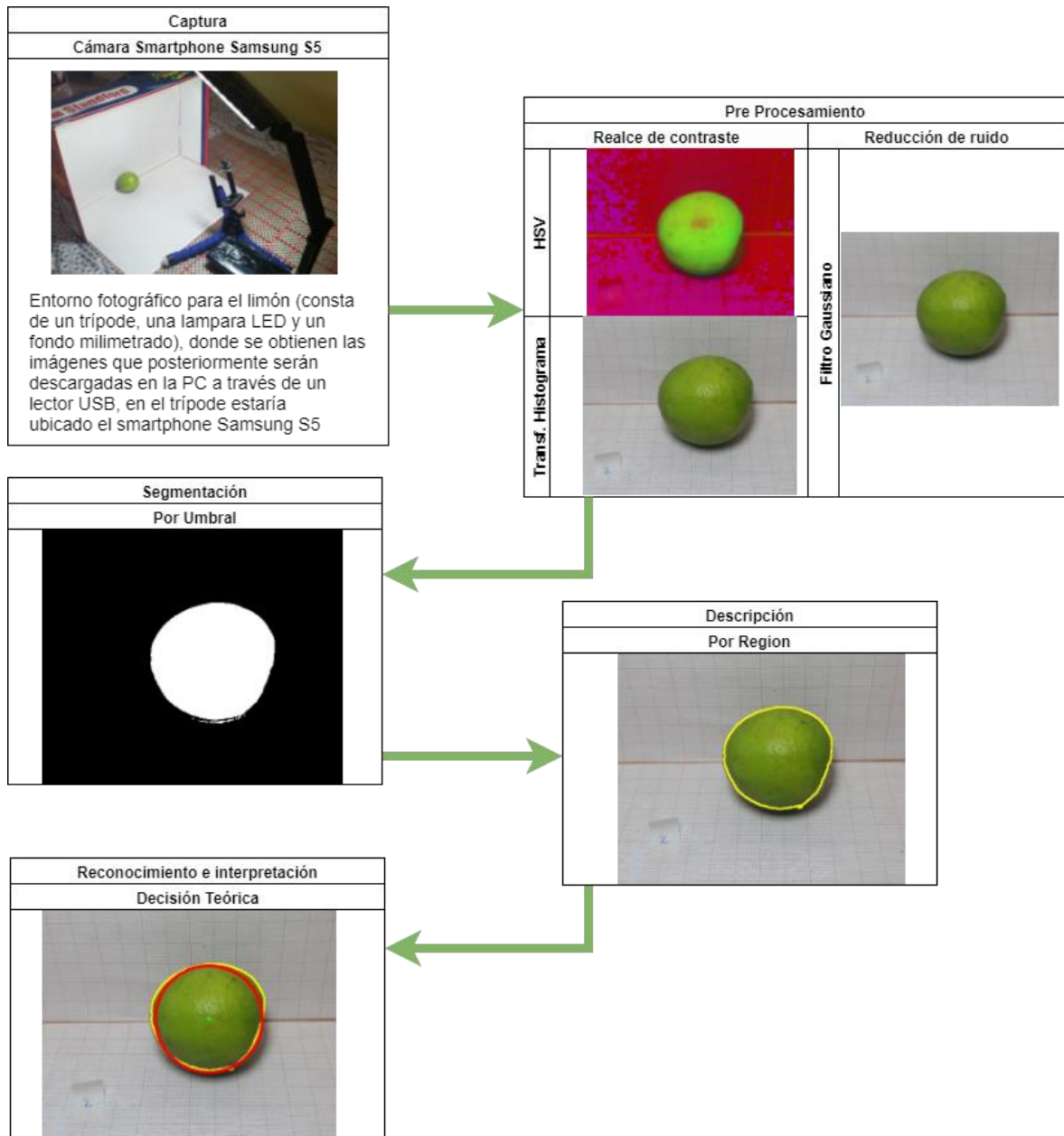


Ilustración 11 – Diagrama de arquitectura de los componentes software interaccionando con el hardware y los resultados obtenidos.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Tipo de diseño de investigación.

El presente trabajo según el diseño de investigación es considerado experimental, de tipo pre experimental de un solo grupo con una sola medición.

G.E.: x-----O₁

Donde:

G.E.: Grupo Experimental

O₁: Observación de la clasificación

x: Sistema de visión computacional

5.2. Material de estudio.

5.2.1. Unidad de estudio.

La unidad de estudio es un limón, del cual se obtendrá una imagen para poder analizar y clasificar.

5.2.2. Población.

La población para esta investigación es indeterminada, compuesta por imágenes de limones, con dimensiones de 2.4 Megapíxeles (2048x1152).

5.2.3. Muestra.

Siendo la población infinita, se aplica el muestreo aleatorio simple para poblaciones infinitas y obtenemos el tamaño de la muestra a través de la siguiente formula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n: tamaño muestral

z: valor correspondiente a la distribución de gauss, $\alpha = 0.05 = 1.96$

p: prevalencia esperada del parámetro a evaluar, en caso de desconocerse ($p = 0.5$), que hace mayor el tamaño muestral

q: $1 - p$ (si $p = 50\%$, $q = 50\%$)

e: error que se prevé cometer si es del 5% , $e = 0.05$

Por lo tanto, el tamaño de la muestra es de:

$$n = 384.16 = 385$$

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

5.3.1. Para recolectar datos.

INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
Sensibilidad	Observación	Ficha de observación digital	Almacenar los resultados del sistema de visión artificial en las fichas de observación digital.
Especificidad	Observación	Ficha de observación digital	Almacenar los resultados del sistema de visión artificial en las fichas de observación digital.
Tiempo	Observación	Ficha de observación digital	Almacenar los resultados del sistema de visión artificial en las fichas de observación digital.

Eficacia	Observación	Ficha de observación digital	Almacenar los resultados del sistema de visión artificial en las fichas de observación digital.
----------	-------------	------------------------------	---

Tabla 11 – Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.2. Para procesar datos.

INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
Sensibilidad	$S = \frac{VP}{VP + FN}$ <p>Donde, S: sensibilidad VP: Verdaderos positivos FN: falsos negativos</p>	Hojas de cálculo	Aplicar la fórmula y analizar los resultados en las hojas de cálculo.
Especificidad	$P = \frac{VN}{VN + FP}$ <p>Donde, P: Especificidad VN: Verdaderos negativos FP: Falsos positivos</p>	Hojas de cálculo	Aplicar la fórmula y analizar los resultados en las hojas de cálculo.
Tiempo	$t = \frac{TE}{L}$ <p>Donde, TE: Tiempo total de ejecución L: Cantidad total de limones analizados</p>	Hojas de cálculo	Aplicar la fórmula y analizar los resultados en las hojas de cálculo.
Eficacia	$E = \frac{A}{T} * 100$ <p>Donde, E: Eficacia A: Cantidad de limones clasificados correctamente T: Cantidad total de limones analizados</p>	Hojas de cálculo	Aplicar la fórmula y analizar los resultados en las hojas de cálculo.

Tabla 12 - Técnicas, procedimientos e instrumentos para procesar datos.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos al hacer uso del software construido en base a los algoritmos determinados en el capítulo de desarrollo. Dichos algoritmos fueron implementados en java y su ejecución se realizó en una computadora con sistema operativo Windows 8, procesador Intel Core i7-3770 y 8 GB de memoria RAM.

6.1. Análisis de indicadores

Para verificar el funcionamiento del software se realizaron experimentos con 385 imágenes que contienen un limón cada una, estas imágenes fueron capturadas en un ambiente controlado bajo criterio personal.

Los posibles escenarios encontrados en los resultados del experimento fueron los siguientes:

Verdadero positivo (VP):

Cuando el sistema de visión artificial reconoce el limón (con dimensiones que cumplen con la norma) en la imagen y le asigna el calibre correcto, es decir lo clasifica correctamente.

VP = 77.4%, equivalente a 298 limones

Verdadero negativo (VN):

Cuando el sistema de visión artificial reconoce el limón (con dimensiones que no cumplen con la norma) en la imagen y no le asigna un calibre correcto.

VN = 6.5%, equivalente a 25 limones

Falso positivo (FP):

Cuando el sistema de visión artificial reconoce el limón (con dimensiones que no cumplen con la norma) en la imagen y lo clasifica correctamente.

FP = 0%, equivalente a 0 limones

Falso negativo (FN):

Cuando el sistema de visión artificial reconoce un limón (con dimensiones que cumplen con la norma) en la imagen y no le asigna un calibre correcto.

FN = 16.1%, equivalente a 62 limones

	Clasificación Correcta	Clasificación Incorrecta
Limones con dimensiones que cumplen con la norma	VP	FN
Limones con dimensiones que no cumplen con la normal	FP	VN

Tabla 13 - Cuadro representativo del análisis de sensibilidad

Fuente: Elaboración propia

Cantidades	Verdaderos	Falsos
Positivos	298	0
Negativos	25	62

Tabla 14 - Resultados en cantidades de análisis de sensibilidad.

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje	Verdaderos	Falsos
Positivos	77.4%	0%
Negativos	6.49%	16.1%

Tabla 15 - Resultados en porcentajes de análisis de sensibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1. Indicador 1: Sensibilidad

Es la capacidad del software para detectar los limones y sus respectivos calibres correctamente.

$$VP = 77.4\%$$

$$FN = 16.1\%$$

$$S = \frac{VP}{VP + FN} = 82.8\%$$

6.1.2. Indicador 2: Especificidad

Es la probabilidad de que el sistema detecte un limón con dimensiones que no cumplen con la norma y no les asigne una clasificación correcta

$$VN = 25\%$$

$$FP = 0\%$$

$$P = \frac{VN}{VN + FP} = 100\%$$

6.1.3. Indicador 3: Tiempo

Es el tiempo de procesamiento que le toma al software analizar la imagen y determinar el calibre del limón, en total fue de xx segundos por limón.

$$t = \frac{TE}{L}$$

Donde, TE = tiempo de ejecución total y L= Cantidad de limones

$$t = 128 \text{ segundos} / 385 = 0.33 \text{ segundos por limón.}$$

6.1.4. Indicador 4: Eficacia

Cantidad de limones clasificados correctamente usando el software.

GE (Grupo experimental): observación del resultado aplicando el software

GE: el software clasificó correctamente 323 limones

E= eficacia

A= Número de aciertos (VP + VN)

T= Total de imágenes analizadas

$$E = \frac{A}{T} * 100$$

Eficacia de GE = 83.9%

De un total de 385 limones, al usar el software se obtuvo una eficacia de 83.9%.

De los indicadores antes mencionados, podemos asegurar que, si es posible que un sistema de visión artificial puede realizar una clasificación uniforme de limones.

Ver **Anexo N°1** para encontrar el origen del total de los valores verdaderos positivos y negativos, así como los falsos positivos y negativos.

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Esta investigación tiene como propósito realizar una clasificación uniforme de limones haciendo uso de un sistema de visión artificial, luego de haber procesado las imágenes y analizado los resultados, se obtuvo lo siguiente.

Indicador 1: la sensibilidad es el porcentaje de limones que fueron detectados y clasificados correctamente por el sistema de visión artificial, llegando al 82.8%, esto representa 298 limones de 385 que conforman la muestra. Luego de contrastar los resultados del software con una medición manual, se puede afirmar que la diferencia de calibres varía entre ± 2 milímetros lo que puede hacer que un limón clasifique a otro calibre, lo que hace que automáticamente un verdadero positivo se convierta en un falso negativo.

Indicador 2: la especificidad, es la tasa de verdaderos negativos, es decir que cuando sea la imagen de un limón que no cumple con la normal, no le debe asignar un calibre. Este porcentaje es de 100%, es decir que todos los limones que no tenían un diámetro de acuerdo a la norma no fueron clasificados.

Indicador 3: la eficacia es la cantidad de clasificaciones correctas realizadas en el grupo experimental (este conjunto es conformado por los verdaderos positivos y verdaderos negativos). Al analizar la eficacia del sistema de visión artificial, la eficacia es de 83.9%. Este indicador se ve afectado por la misma diferencia de calibres explicada en el indicador 1.

Indicador 4: el tiempo que se ha medido es el que le toma al sistema de visión artificial para detectar y clasificar 385 imágenes de limones, en este caso, se ha encontrado que un limón es detectado y clasificado en 0.33 segundos.

CONCLUSIONES

El objetivo general de la presente tesis es el de realizar una clasificación uniforme de limones haciendo uso de un sistema de visión artificial, mediante los algoritmos seleccionados y el software implementado en base a estos, se pudo cumplir este objetivo.

Se logró determinar la sensibilidad del sistema de visión artificial, es decir que se pueda detectar y clasificar correctamente el objeto de interés en la imagen con un resultado del 82.8%

Se logró determinar la especificidad, es decir la tasa de verdaderos negativos, la cual es del 100%. Comprobando de esta manera que gracias a un ambiente controlado y a que solo se analizaron muestras de limones, es muy probable que el sistema de visión artificial no clasifique dentro de los calibres permitidos a un limón que tenga diámetro no aceptado por la norma Codex.

Se logró evaluar el tiempo que le toma al sistema de visión artificial detectar y clasificar un limón, teniendo como resultado 0.33 segundos.

Se logró determinar la cantidad de aciertos (verdaderos positivos y verdaderos negativos) que tiene el sistema de visión artificial, teniendo como resultado un 83.9%.

RECOMENDACIONES

Para la presente investigación se recomienda:

- Evaluar la utilización de técnicas de redes neuronales o algoritmos genéticos para la etapa de detección y clasificación de limones u otros objetos de interés.
- Evaluar el uso de otras máscaras en la fase de reconocimiento, para tener mayor exactitud en la detección del calibre.

REFERENCIAS

- AgroDataPeru. (22 de 1 de 2016). *Agro Data Perú*. Obtenido de Agro Data Perú Web Site: <http://www.agrodataperu.com/2016/01/limon-fresco-peru-exportacion-diciembre-2015.html>
- Aldalur, B., & Santamaría, M. (10 de 04 de 2017). *Realce de imágenes: filtrado espacial*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca.
- Azouzi, S. H. (14 de 04 de 2005). *Editor de Imágenes basado en Regiones*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Belloch, C. (10 de 04 de 2017). *APLICACIONES MULTIMEDIA*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Cortéz, A. (2004). *Teoría de la complejidad computacional y teoría de la computabilidad*. Lima: Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática UNMSM.
- Departamento de electrónica automática y bioingeniería. (06 de 07 de 2016). *Departamento de electrónica automática y bioingeniería*. Obtenido de Departamento de electrónica automática y bioingeniería Web Site: <http://dea.unsj.edu.ar/imagenes/recursos/capitulo6.pdf>
- Dueñas, C. P. (24 de 03 de 2016). *Procesamiento morfológico*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Fernández-Bozal, J. (03 de Marzo de 2017). *El equipamiento para la fotografía digital*. Barcelona: Revista Española de Ortodoncia. Obtenido de Revista española de ortodoncia.
- Huerta, H. F. (2011). *Redes neuronales para el reconocimiento de la calidad morfológica de mangos exportables para la empresa Biofruit del Perú S.A.C*. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal.
- I, L. d., & S, P. F. (1998). *Curvas ROC*. Coruña : Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística.
- Limonos Piuranos. (6 de 12 de 2012). *Limonos Piuranos*. Obtenido de Limonos Piuranos Web Site: <http://www.limonespriuranos.com/>
- López, J. M., & Cañas, M. A. (2007). *Registro de transeúntes en tiempo real utilizando un sistema de visión artificial sobre un ambiente controlado*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

- Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas. (2007). Norma del Codex para la Lima-Limón. *CODEX ALIMENTARIUS - Frutas y Hortalizas Frescas*, 57-61.
- Ortíz, M. M. (13 de 04 de 2013). *Procesamiento digital de imágenes*. Puebla: Universidad Autónoma de Puebla.
- Palomino, N. L., & Concha, U. R. (14 de 07 de 2009). *Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de Biblioteca Central 'Pedro Zulen'.
- Santillán, E. G. (11 de 05 de 2008). “*Detección y clasificación de objetos dentro de un salón de clases empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes*”. Azcapotzalco: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Santillán, I. D. (2008). *Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando Matlab*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra.
- Universidad de Murcia. (28 de 04 de 2013). *Teledetección - Universidad de Murcia*. Obtenido de Teledetección: <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema06.pdf>
- Vanacloig, V. A. (10 de 04 de 2017). *El histograma de una imagen digital*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.

ANEXOS

ANEXO N.º 01

Tabla de resultados del sistema de visión artificial.

Leyenda:

D. Real: diámetro del limón calculado manualmente.

C1: Calibre 1

C2: Calibre 2

C3: Calibre 3

D. Calculado: Diámetro del limón calculado por el sistema de visión artificial.

CC: Calibre calculado por el sistema de visión artificial.

VP: Verdadero positivo

VN: Verdadero negativo

FP: Falso positivo

FN: Falso negativo.

En vista a que según la normativa del Codex de lima limón de la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, un limón puede pertenecer a varios calibres según su diámetro, se consideró 3 posibles calibres para el limón.

Limón	D. Real	C1	C2	C3	D. Calculado	CC	VP	VN	FP	FN
1	53	2	3	0	54,1	2	1	0	0	0
2	55	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
3	63	1	1	0	63,9	1	1	0	0	0
4	52	3	4	0	53,2	2	0	0	0	1
5	54	2	3	0	52,8	3	1	0	0	0
6	51	3	4	0	53,1	2	0	0	0	1
7	50	3	4	0	50,7	3	1	0	0	0
8	50	3	4	0	49,5	3	1	0	0	0
9	49	3	4	5	50,0	3	1	0	0	0
10	49	3	4	5	50,2	3	1	0	0	0
11	49	3	4	5	50,4	3	1	0	0	0

12	59	1	2	0	58,0	1	1	0	0	0
13	50	3	4	0	48,1	3	1	0	0	0
14	53	2	3	0	51,6	3	1	0	0	0
15	51	3	4	0	52,9	3	1	0	0	0
16	53	2	3	0	53,3	2	1	0	0	0
17	51	3	4	0	50,2	3	1	0	0	0
18	57	2	3	0	56,2	2	1	0	0	0
19	54	2	3	0	55,8	2	1	0	0	0
20	55	2	3	0	54,4	2	1	0	0	0
21	47	4	5	0	48,0	4	1	0	0	0
22	54	2	3	0	53,0	3	1	0	0	0
23	57	2	3	0	56,2	2	1	0	0	0
24	51	3	4	0	52,7	3	1	0	0	0
25	51	3	4	0	53,6	2	0	0	0	1
26	51	3	4	0	52,1	3	1	0	0	0
27	50	3	4	0	50,9	3	1	0	0	0
28	52	3	4	0	51,3	3	1	0	0	0
29	54	2	3	0	54,2	2	1	0	0	0
30	50	3	4	0	52,6	3	1	0	0	0
31	52	3	4	0	50,4	3	1	0	0	0
32	51	3	4	0	53,1	2	0	0	0	1
33	52	3	4	0	53,8	2	0	0	0	1
34	49	3	4	5	47,4	4	1	0	0	0
35	60	1	2	0	59,4	1	1	0	0	0
36	55	2	3	0	53,5	2	1	0	0	0
37	50	3	4	0	49,7	3	1	0	0	0
38	55	2	3	0	55,8	2	1	0	0	0
39	51	3	4	0	49,4	3	1	0	0	0
40	54	2	3	0	53,2	2	1	0	0	0
41	55	2	3	0	56,4	2	1	0	0	0
42	48	3	4	5	50,8	3	1	0	0	0
43	53	2	3	0	53,8	2	1	0	0	0
44	50	3	4	0	50,4	3	1	0	0	0
45	56	2	3	0	54,4	2	1	0	0	0
46	55	2	3	0	55,9	2	1	0	0	0
47	57	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
48	55	2	3	0	54,9	2	1	0	0	0
49	51	3	4	0	49,7	3	1	0	0	0
50	53	2	3	0	54,9	2	1	0	0	0
51	50	3	4	0	50,7	3	1	0	0	0
52	58	1	2	0	56,1	2	1	0	0	0
53	51	3	4	0	50,3	3	1	0	0	0
54	49	3	4	5	50,2	3	1	0	0	0

55	54	2	3	0	53,9	2	1	0	0	0
56	47	4	5	0	47,7	4	1	0	0	0
57	49	3	4	5	50,9	3	1	0	0	0
58	53	2	3	0	52,6	3	1	0	0	0
59	60	1	2	0	58,6	1	1	0	0	0
60	49	3	4	5	49,8	3	1	0	0	0
61	52	3	4	0	52,5	3	1	0	0	0
62	48	3	4	5	48,7	3	1	0	0	0
63	52	3	4	0	53,6	2	0	0	0	1
64	49	3	4	5	47,3	4	1	0	0	0
65	51	3	4	0	53,1	2	0	0	0	1
66	51	3	4	0	52,9	3	1	0	0	0
67	57	2	3	0	55,1	2	1	0	0	0
68	50	3	4	0	50,1	3	1	0	0	0
69	52	3	4	0	51,7	3	1	0	0	0
70	48	3	4	5	49,8	3	1	0	0	0
71	50	3	4	0	50,9	3	1	0	0	0
72	50	3	4	0	50,5	3	1	0	0	0
73	56	2	3	0	58,1	1	0	0	0	1
74	52	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0
75	53	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
76	55	2	3	0	56,3	2	1	0	0	0
77	53	2	3	0	52,5	3	1	0	0	0
78	58	1	2	0	57,9	2	1	0	0	0
79	53	2	3	0	55,6	2	1	0	0	0
80	56	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
81	49	3	4	5	50,2	3	1	0	0	0
82	49	3	4	5	51,1	3	1	0	0	0
83	50	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0
84	48	3	4	5	48,3	3	1	0	0	0
85	54	2	3	0	55,9	2	1	0	0	0
86	50	3	4	0	52,4	3	1	0	0	0
87	49	3	4	5	51,7	3	1	0	0	0
88	49	3	4	5	51,1	3	1	0	0	0
89	51	3	4	0	53,1	2	0	0	0	1
90	58	1	2	0	57,8	2	1	0	0	0
91	52	3	4	0	53,6	2	0	0	0	1
92	50	3	4	0	52,3	3	1	0	0	0
93	51	3	4	0	53,7	2	0	0	0	1
94	51	3	4	0	53,2	2	0	0	0	1
95	51	3	4	0	52,6	3	1	0	0	0
96	55	2	3	0	54,9	2	1	0	0	0
97	52	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0

98	52	3	4	0	54,5	2	0	0	0	1
99	56	2	3	0	58,1	1	0	0	0	1
100	55	2	3	0	57,3	2	1	0	0	0
101	55	2	3	0	56,2	2	1	0	0	0
102	51	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0
103	55	2	3	0	56,5	2	1	0	0	0
104	55	2	3	0	55,8	2	1	0	0	0
105	55	2	3	0	56,5	2	1	0	0	0
106	50	3	4	0	50,7	3	1	0	0	0
107	50	3	4	0	50,9	3	1	0	0	0
108	55	2	3	0	56,6	2	1	0	0	0
109	52	3	4	0	53,1	2	0	0	0	1
110	58	1	2	0	57,3	2	1	0	0	0
111	51	3	4	0	52,9	3	1	0	0	0
112	48	3	4	5	49,9	3	1	0	0	0
113	54	2	3	0	56,6	2	1	0	0	0
114	51	3	4	0	53,7	2	0	0	0	1
115	50	3	4	0	51,1	3	1	0	0	0
116	51	3	4	0	52,0	3	1	0	0	0
117	56	2	3	0	57,2	2	1	0	0	0
118	52	3	4	0	53,9	2	0	0	0	1
119	48	3	4	5	49,8	3	1	0	0	0
120	49	3	4	5	50,2	3	1	0	0	0
121	50	3	4	0	51,1	3	1	0	0	0
122	52	3	4	0	53,8	2	0	0	0	1
123	51	3	4	0	52,0	3	1	0	0	0
124	50	3	4	0	50,7	3	1	0	0	0
125	51	3	4	0	53,3	2	0	0	0	1
126	55	2	3	0	56,7	2	1	0	0	0
127	48	3	4	5	50,1	3	1	0	0	0
128	52	3	4	0	54,5	2	0	0	0	1
129	53	2	3	0	53,3	2	1	0	0	0
130	50	3	4	0	52,2	3	1	0	0	0
131	53	2	3	0	55,8	2	1	0	0	0
132	48	3	4	5	49,2	3	1	0	0	0
133	52	3	4	0	53,4	2	0	0	0	1
134	48	3	4	5	47,4	4	1	0	0	0
135	54	2	3	0	55,8	2	1	0	0	0
136	50	3	4	0	51,3	3	1	0	0	0
137	52	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0
138	50	3	4	0	50,3	3	1	0	0	0
139	53	2	3	0	54,7	2	1	0	0	0
140	53	2	3	0	54,2	2	1	0	0	0

141	50	3	4	0	52,6	3	1	0	0	0
142	52	3	4	0	54,1	2	0	0	0	1
143	54	2	3	0	55,5	2	1	0	0	0
144	55	2	3	0	57,1	2	1	0	0	0
145	52	3	4	0	53,7	2	0	0	0	1
146	51	3	4	0	52,6	3	1	0	0	0
147	54	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
148	51	3	4	0	50,9	3	1	0	0	0
149	53	2	3	0	54,1	2	1	0	0	0
150	51	3	4	0	53,0	3	1	0	0	0
151	51	3	4	0	53,1	2	0	0	0	1
152	55	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
153	52	3	4	0	54,3	2	0	0	0	1
154	51	3	4	0	52,7	3	1	0	0	0
155	53	2	3	0	55,7	2	1	0	0	0
156	59	1	2	0	58,4	1	1	0	0	0
157	54	2	3	0	55,6	2	1	0	0	0
158	53	2	3	0	54,9	2	1	0	0	0
159	54	2	3	0	53,9	2	1	0	0	0
160	53	2	3	0	55,7	2	1	0	0	0
161	55	2	3	0	54,8	2	1	0	0	0
162	52	3	4	0	53,6	2	0	0	0	1
163	51	3	4	0	53,2	2	0	0	0	1
164	50	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0
165	58	1	2	0	59,1	1	1	0	0	0
166	56	2	3	0	57,0	2	1	0	0	0
167	52	3	4	0	53,4	2	0	0	0	1
168	53	2	3	0	54,9	2	1	0	0	0
169	56	2	3	0	55,0	2	1	0	0	0
170	49	3	4	5	51,3	3	1	0	0	0
171	54	2	3	0	55,5	2	1	0	0	0
172	52	3	4	0	53,4	2	0	0	0	1
173	54	2	3	0	55,7	2	1	0	0	0
174	55	2	3	0	56,4	2	1	0	0	0
175	51	3	4	0	53,8	2	0	0	0	1
176	56	2	3	0	55,0	2	1	0	0	0
177	55	2	3	0	55,8	2	1	0	0	0
178	50	3	4	0	51,7	3	1	0	0	0
179	54	2	3	0	55,7	2	1	0	0	0
180	50	3	4	0	52,1	3	1	0	0	0
181	55	2	3	0	55,1	2	1	0	0	0
182	56	2	3	0	56,9	2	1	0	0	0
183	52	3	4	0	54,4	2	0	0	0	1

184	53	2	3	0	54,8	2	1	0	0	0
185	53	2	3	0	54,3	2	1	0	0	0
186	49	3	4	5	50,3	3	1	0	0	0
187	50	3	4	0	52,1	3	1	0	0	0
188	55	2	3	0	56,1	2	1	0	0	0
189	53	2	3	0	54,3	2	1	0	0	0
190	51	3	4	0	52,2	3	1	0	0	0
191	51	3	4	0	53,7	2	0	0	0	1
192	55	2	3	0	56,1	2	1	0	0	0
193	50	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0
194	55	2	3	0	55,3	2	1	0	0	0
195	51	3	4	0	52,2	3	1	0	0	0
196	51	3	4	0	52,4	3	1	0	0	0
197	50	3	4	0	52,3	3	1	0	0	0
198	52	3	4	0	54,1	2	0	0	0	1
199	53	2	3	0	54,5	2	1	0	0	0
200	57	2	3	0	57,1	2	1	0	0	0
201	55	2	3	0	57,1	2	1	0	0	0
202	57	2	3	0	58,6	1	0	0	0	1
203	54	2	3	0	55,8	2	1	0	0	0
204	52	3	4	0	54,0	2	0	0	0	1
205	51	3	4	0	52,3	3	1	0	0	0
206	57	2	3	0	59,6	1	0	0	0	1
207	53	2	3	0	52,5	3	1	0	0	0
208	53	2	3	0	53,6	2	1	0	0	0
209	56	2	3	0	57,0	2	1	0	0	0
210	52	3	4	0	54,3	2	0	0	0	1
211	50	3	4	0	51,5	3	1	0	0	0
212	53	2	3	0	54,6	2	1	0	0	0
213	57	2	3	0	57,0	2	1	0	0	0
214	53	2	3	0	55,5	2	1	0	0	0
215	50	3	4	0	52,5	3	1	0	0	0
216	55	2	3	0	56,7	2	1	0	0	0
217	58	1	2	0	58,9	1	1	0	0	0
218	53	2	3	0	55,2	2	1	0	0	0
219	56	2	3	0	56,9	2	1	0	0	0
220	55	2	3	0	55,2	2	1	0	0	0
221	55	2	3	0	57,5	2	1	0	0	0
222	51	3	4	0	53,0	3	1	0	0	0
223	56	2	3	0	58,6	1	0	0	0	1
224	48	3	4	5	49,2	3	1	0	0	0
225	54	2	3	0	53,8	2	1	0	0	0
226	52	3	4	0	54,7	2	0	0	0	1

227	50	3	4	0	52,3	3	1	0	0	0
228	57	2	3	0	58,1	1	0	0	0	1
229	51	3	4	0	53,3	2	0	0	0	1
230	53	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
231	55	2	3	0	56,5	2	1	0	0	0
232	61	1	2	0	62,1	1	1	0	0	0
233	50	3	4	0	52,2	3	1	0	0	0
234	53	2	3	0	54,8	2	1	0	0	0
235	50	3	4	0	51,0	3	1	0	0	0
236	55	2	3	0	55,3	2	1	0	0	0
237	55	2	3	0	55,1	2	1	0	0	0
238	54	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
239	57	2	3	0	59,0	1	0	0	0	1
240	56	2	3	0	58,7	1	0	0	0	1
241	57	2	3	0	58,0	1	0	0	0	1
242	57	2	3	0	58,9	1	0	0	0	1
243	50	3	4	0	51,1	3	1	0	0	0
244	55	2	3	0	54,7	2	1	0	0	0
245	55	2	3	0	53,7	2	1	0	0	0
246	65	1	1	0	65,1	1	1	0	0	0
247	50	3	4	0	50,9	3	1	0	0	0
248	51	3	4	0	52,6	3	1	0	0	0
249	62	1	2	0	63,9	1	1	0	0	0
250	55	2	3	0	56,8	2	1	0	0	0
251	53	2	3	0	54,9	2	1	0	0	0
252	55	2	3	0	56,1	2	1	0	0	0
253	62	1	2	0	63,7	1	1	0	0	0
254	55	2	3	0	54,6	2	1	0	0	0
255	56	2	3	0	55,6	2	1	0	0	0
256	48	3	4	5	50,7	3	1	0	0	0
257	50	3	4	0	50,3	3	1	0	0	0
258	54	2	3	0	55,5	2	1	0	0	0
259	53	2	3	0	54,1	2	1	0	0	0
260	52	3	4	0	54,4	2	0	0	0	1
261	52	3	4	0	54,3	2	0	0	0	1
262	59	1	2	0	60,0	1	1	0	0	0
263	50	3	4	0	49,4	3	1	0	0	0
264	50	3	4	0	51,0	3	1	0	0	0
265	54	2	3	0	53,0	3	1	0	0	0
266	58	1	2	0	59,8	1	1	0	0	0
267	57	2	3	0	59,5	1	0	0	0	1
268	58	1	2	0	59,1	1	1	0	0	0
269	54	2	3	0	53,8	2	1	0	0	0

270	53	2	3	0	54,3	2	1	0	0	0
271	49	3	4	5	51,4	3	1	0	0	0
272	57	2	3	0	59,5	1	0	0	0	1
273	54	2	3	0	52,8	3	1	0	0	0
274	47	4	5	0	49,0	3	0	0	0	1
275	50	3	4	0	52,4	3	1	0	0	0
276	53	2	3	0	54,1	2	1	0	0	0
277	58	1	2	0	56,4	2	1	0	0	0
278	57	2	3	0	58,2	1	0	0	0	1
279	56	2	3	0	56,9	2	1	0	0	0
280	52	3	4	0	53,3	2	0	0	0	1
281	50	3	4	0	52,4	3	1	0	0	0
282	59	1	2	0	59,7	1	1	0	0	0
283	59	1	2	0	60,1	1	1	0	0	0
284	53	2	3	0	54,2	2	1	0	0	0
285	56	2	3	0	55,1	2	1	0	0	0
286	56	2	3	0	57,2	2	1	0	0	0
287	49	3	4	5	51,0	3	1	0	0	0
288	51	3	4	0	52,6	3	1	0	0	0
289	52	3	4	0	54,5	2	0	0	0	1
290	55	2	3	0	56,2	2	1	0	0	0
291	51	3	4	0	52,1	3	1	0	0	0
292	54	2	3	0	53,8	2	1	0	0	0
293	50	3	4	0	51,4	3	1	0	0	0
294	50	3	4	0	51,7	3	1	0	0	0
295	50	3	4	0	51,9	3	1	0	0	0
296	58	1	2	0	57,9	2	1	0	0	0
297	56	2	3	0	57,7	2	1	0	0	0
298	49	3	4	5	50,5	3	1	0	0	0
299	52	3	4	0	53,9	2	0	0	0	1
300	59	1	2	0	59,6	1	1	0	0	0
301	56	2	3	0	55,1	2	1	0	0	0
302	56	2	3	0	57,2	2	1	0	0	0
303	56	2	3	0	57,2	2	1	0	0	0
304	54	2	3	0	54,6	2	1	0	0	0
305	56	2	3	0	56,5	2	1	0	0	0
306	56	2	3	0	57,3	2	1	0	0	0
307	51	3	4	0	51,0	3	1	0	0	0
308	51	3	4	0	52,9	3	1	0	0	0
309	56	2	3	0	56,3	2	1	0	0	0
310	56	2	3	0	58,1	1	0	0	0	1
311	51	3	4	0	52,9	3	1	0	0	0
312	51	3	4	0	53,3	2	0	0	0	1

313	50	3	4	0	49,7	3	1	0	0	0
314	53	2	3	0	54,8	2	1	0	0	0
315	55	2	3	0	56,4	2	1	0	0	0
316	57	2	3	0	59,5	1	0	0	0	1
317	50	3	4	0	51,5	3	1	0	0	0
318	56	2	3	0	56,5	2	1	0	0	0
319	59	1	2	0	61,1	1	1	0	0	0
320	53	2	3	0	54,4	2	1	0	0	0
321	53	2	3	0	54,7	2	1	0	0	0
322	53	2	3	0	53,3	2	1	0	0	0
323	50	3	4	0	52,1	3	1	0	0	0
324	51	3	4	0	52,5	3	1	0	0	0
325	56	2	3	0	56,0	2	1	0	0	0
326	56	2	3	0	56,4	2	1	0	0	0
327	55	2	3	0	53,8	2	1	0	0	0
328	56	2	3	0	57,9	2	1	0	0	0
329	55	2	3	0	56,4	2	1	0	0	0
330	52	3	4	0	53,9	2	0	0	0	1
331	55	2	3	0	56,8	2	1	0	0	0
332	51	3	4	0	52,9	3	1	0	0	0
333	58	1	2	0	60,2	1	1	0	0	0
334	51	3	4	0	52,3	3	1	0	0	0
335	56	2	3	0	56,6	2	1	0	0	0
336	50	3	4	0	52,0	3	1	0	0	0
337	53	2	3	0	52,6	3	1	0	0	0
338	55	2	3	0	56,4	2	1	0	0	0
339	55	2	3	0	54,5	2	1	0	0	0
340	52	3	4	0	53,3	2	0	0	0	1
341	50	3	4	0	52,0	3	1	0	0	0
342	50	3	4	0	50,9	3	1	0	0	0
343	51	3	4	0	52,7	3	1	0	0	0
344	55	2	3	0	55,4	2	1	0	0	0
345	51	3	4	0	53,1	2	0	0	0	1
346	54	2	3	0	55,5	2	1	0	0	0
347	52	3	4	0	53,9	2	0	0	0	1
348	48	3	4	5	49,9	3	1	0	0	0
349	62	1	2	0	61,5	1	1	0	0	0
350	53	2	3	0	54,2	2	1	0	0	0
351	57	2	3	0	57,9	2	1	0	0	0
352	52	3	4	0	54,0	2	0	0	0	1
353	56	2	3	0	55,0	2	1	0	0	0
354	51	3	4	0	51,2	3	1	0	0	0
355	56	2	3	0	56,9	2	1	0	0	0

356	60	1	2	0	61,4	1	1	0	0	0
357	58	1	2	0	58,9	1	1	0	0	0
358	53	2	3	0	54,0	2	1	0	0	0
359	55	2	3	0	57,6	2	1	0	0	0
360	53	2	3	0	53,3	2	1	0	0	0
361	35	0	0	0	36,2	0	0	1	0	0
362	35	0	0	0	35,8	0	0	1	0	0
363	35	0	0	0	38,1	0	0	1	0	0
364	38	0	0	0	38,6	0	0	1	0	0
365	37	0	0	0	37,9	0	0	1	0	0
366	36	0	0	0	36,2	0	0	1	0	0
367	38	0	0	0	39,2	0	0	1	0	0
368	37	0	0	0	39,5	0	0	1	0	0
369	35	0	0	0	36,5	0	0	1	0	0
370	33	0	0	0	35,2	0	0	1	0	0
371	37	0	0	0	37,9	0	0	1	0	0
372	37	0	0	0	38,8	0	0	1	0	0
373	33	0	0	0	33,7	0	0	1	0	0
374	36	0	0	0	37,9	0	0	1	0	0
375	39	0	0	0	38,2	0	0	1	0	0
376	34	0	0	0	35,0	0	0	1	0	0
377	36	0	0	0	36,3	0	0	1	0	0
378	37	0	0	0	35,3	0	0	1	0	0
379	36	0	0	0	35,4	0	0	1	0	0
380	32	0	0	0	32,6	0	0	1	0	0
381	35	0	0	0	35,0	0	0	1	0	0
382	36	0	0	0	37,0	0	0	1	0	0
383	39	0	0	0	39,2	0	0	1	0	0
384	35	0	0	0	37,0	0	0	1	0	0
385	35	0	0	0	35,1	0	0	1	0	0

Tabla 16 - Tabla de orígenes de valores para el análisis de sensibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N.º 02

Capturas de pantalla del sistema de visión artificial

A. Interfaz principal

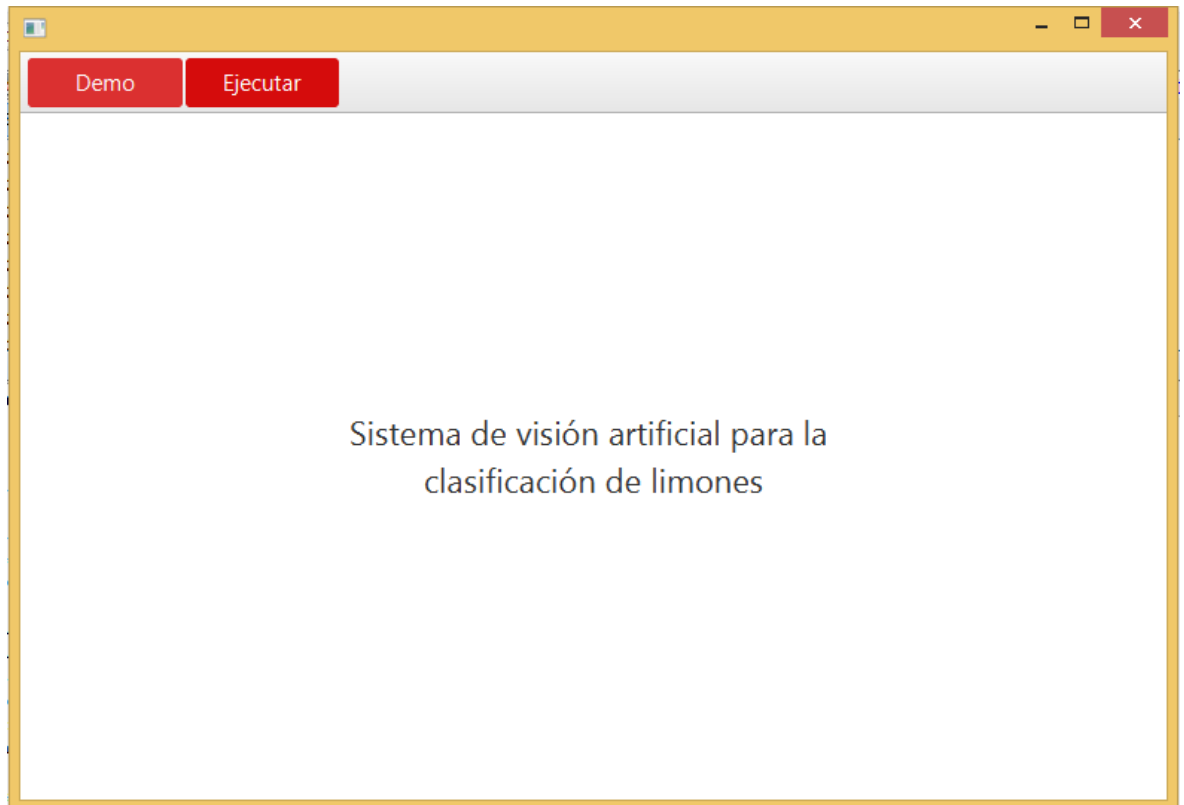


Ilustración 12 - Interfaz principal del sistema de visión artificial.

Fuente: Elaboración propia.

B. Interfaz para análisis masivo: se accede a través de la opción “Ejecutar”

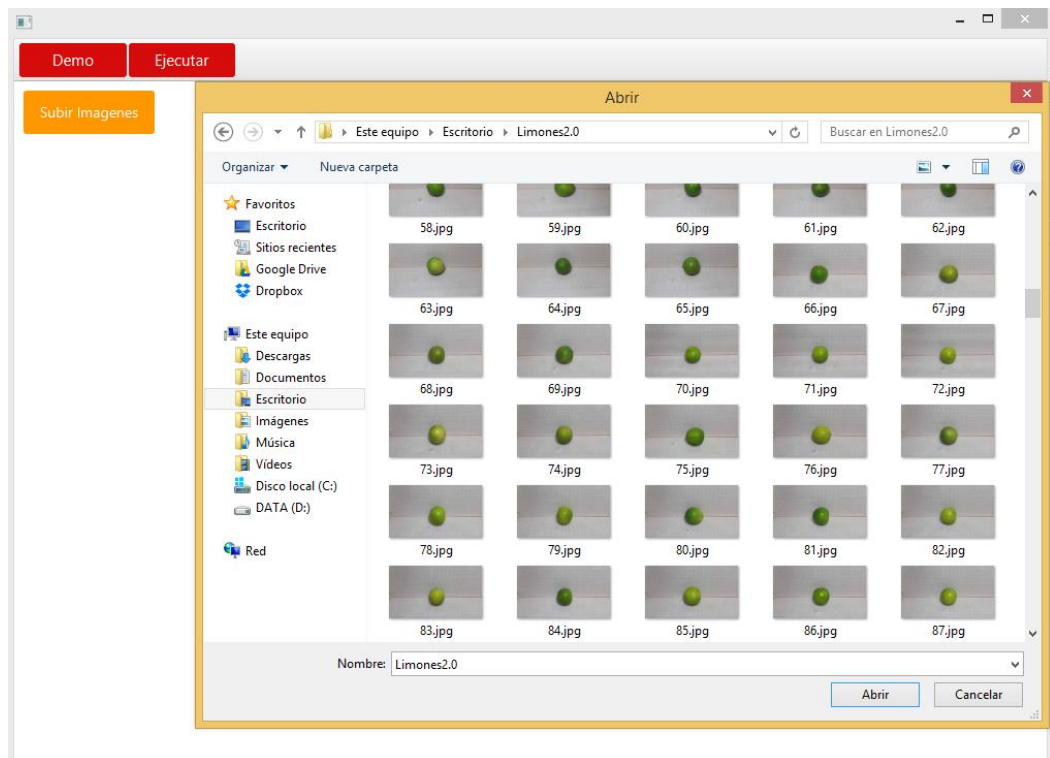


Ilustración 13 - Interfaz para análisis masivo.

Fuente: Elaboración propia.

C. Interfaz para realizar pruebas individuales a los limones: se accede a través de la opción “Demo”

a. Captura de imagen



Ilustración 14 - Interfaz de la fase de captura de imagen.

Fuente: Elaboración propia

b. Pre procesamiento

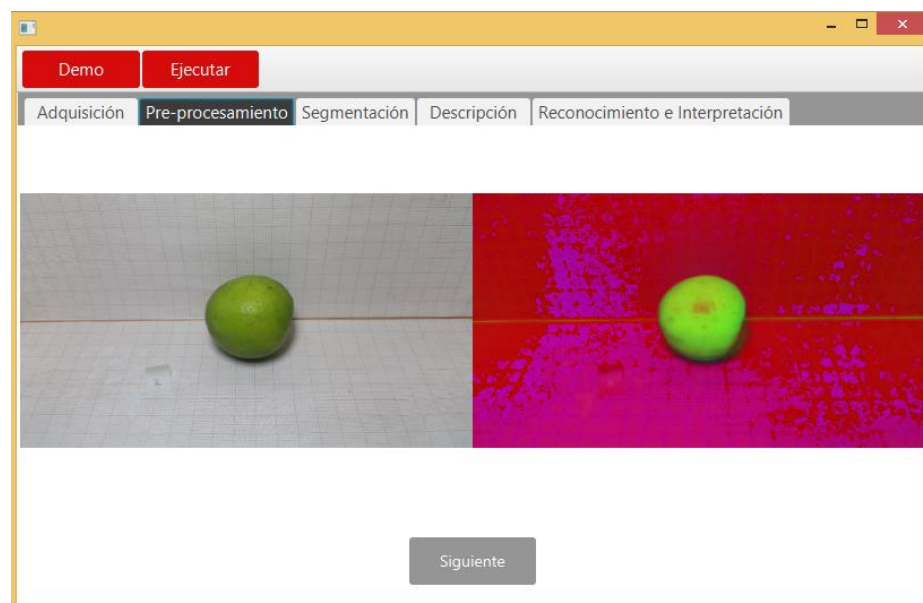


Ilustración 15 - Interfaz de la fase de pre-procesamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

c. Segmentación

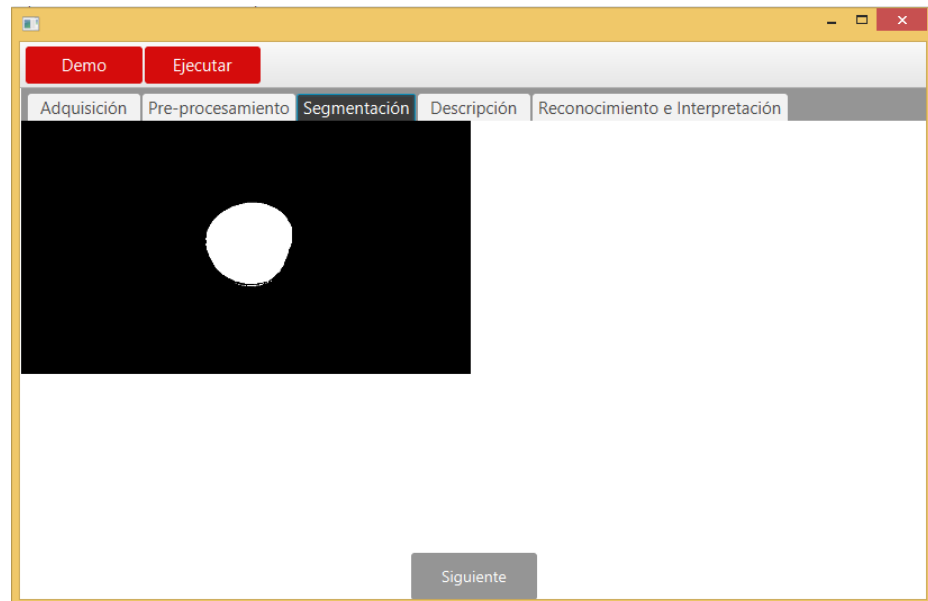


Ilustración 16 - Interfaz de la fase de segmentación.

Fuente: Elaboración propia.

d. Descripción

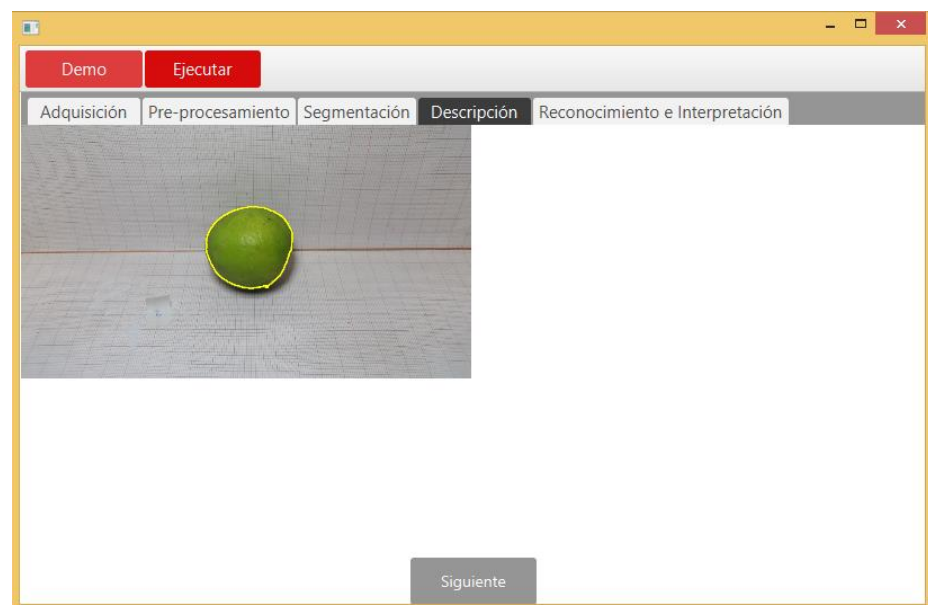


Ilustración 17 - Interfaz de la fase de descripción.

Fuente: Elaboración propia.

e. Reconocimiento.

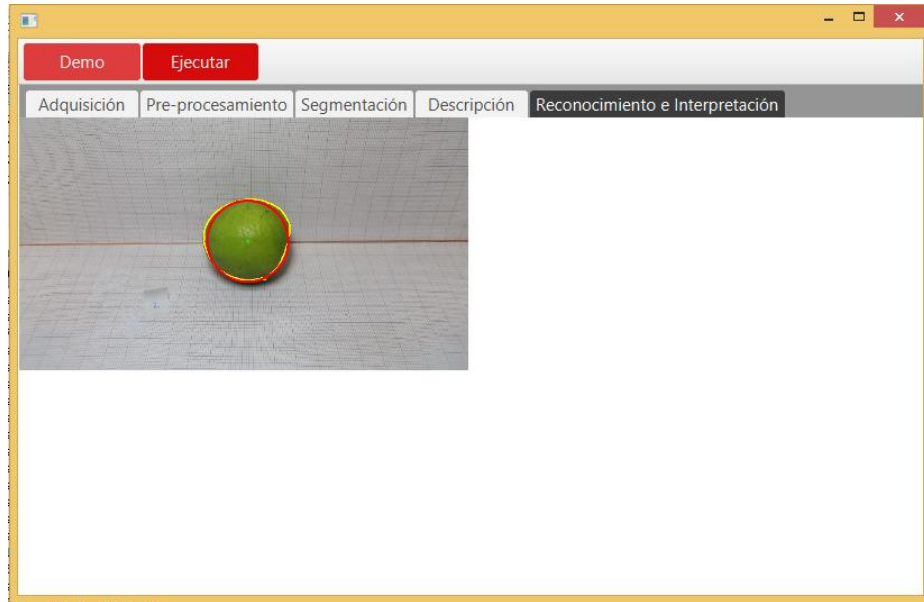


Ilustración 18 - Interfaz de la fase de reconocimiento e interpretación.

Fuente: Elaboración propia.