

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DETECCIÓN Y CONTEO DE BAYAS EN CULTIVO DE UVA DE MESA
THOMPSON SEEDLESS MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE
IMÁGENES**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR:

Angel de Jesus Perez Gutierrez

ASESOR:

Donato Andrés Flores Espinoza

Lima, setiembre, 2024

Informe de Similitud

Yo, Donato Andres Flores Espinoza, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada DETECCIÓN Y CONTEO DE BAYAS EN CULTIVO DE UVA DE MESA THOMPSON SEEDLESS MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES, del autor Angel de Jesús Pérez Gutiérrez, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 15%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 10/09/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 11 de septiembre de 2024

Apellidos y nombres del asesor: <u>Flores Espinoza, Donato Andres</u>	
DNI: 06017817	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2092-7666	

RESUMEN

Actualmente en nuestro país, los productores de cultivo de uva de mesa tienen un acceso limitado de información sobre la cantidad de la cosecha en su campo. El proceso de conteo de uvas de mesa se realiza manualmente en la cosecha, cada temporada, para poder estimar la cantidad de embalaje necesario. Este procedimiento puede variar de año en año y puede demandar de varias semanas para zonas con grandes cantidades de hectáreas de cultivo de uva de mesa.

Mientras que el enfoque podría funcionar bien para los campos de tamaño pequeño, se vuelve intratable económicamente para los campos más grandes debido a la naturaleza dependiente de trabajo de la obra.

En esta tesis se empleará técnicas de procesamiento digital de imágenes para mejorar la precisión del conteo de uva de mesa en el campo y reducir abruptamente el tiempo de cosecha y pérdidas económicas del exceso de embalaje.

En el primer capítulo se hace referencia al estado de la investigación con respecto al cultivo de uva de mesa en nuestro país y en el extranjero, así como la declaración de la problemática y objetivos planteados. El segundo capítulo se describe el estado del arte, la matemática empleada para la programación de dos métodos que se utilizan para el conteo de bayas con su respectivo análisis comparativo. En el tercer capítulo se desarrolla dos algoritmos que permita contar las bayas en el cultivo de uva de mesa Thompson Seedless, tomando muestras de bayas de diferentes tamaños. Finalmente, en el capítulo 4 se desarrolla el análisis correspondiente y las conclusiones comparando resultados.

A Dios por ser mi guía celestial a lo largo de mi carrera.

A José, mi padre, por ser mi modelo de responsabilidad, esfuerzo, valentía y perseverancia.

A Rosalina, mi madre, por ser mi modelo de liderazgo y dedicación.

A Víctor, mi hermano, por ser mi compañero de vida, ejemplo de profesionalismo y calidad humana.

A Celia, mi tía, por ser mi segunda madre, cuidarme, protegerme y aconsejarme siempre.

A Lían, mi hijo, por ser parte de mi motivación día a día.

A Yessenia, mi esposa, por su cariño brindado y preocupación a lo largo de nuestra relación.

A Luis, mi primo, por ser un hermano más en mi vida.

A mi asesor Andrés Flores, por el apoyo y la confianza para la realización del presente trabajo.

A Juan Carlos Brignardello, por el apoyo y la confianza de permitirme tomar la base de datos del fundo Vitícola S.A.C.

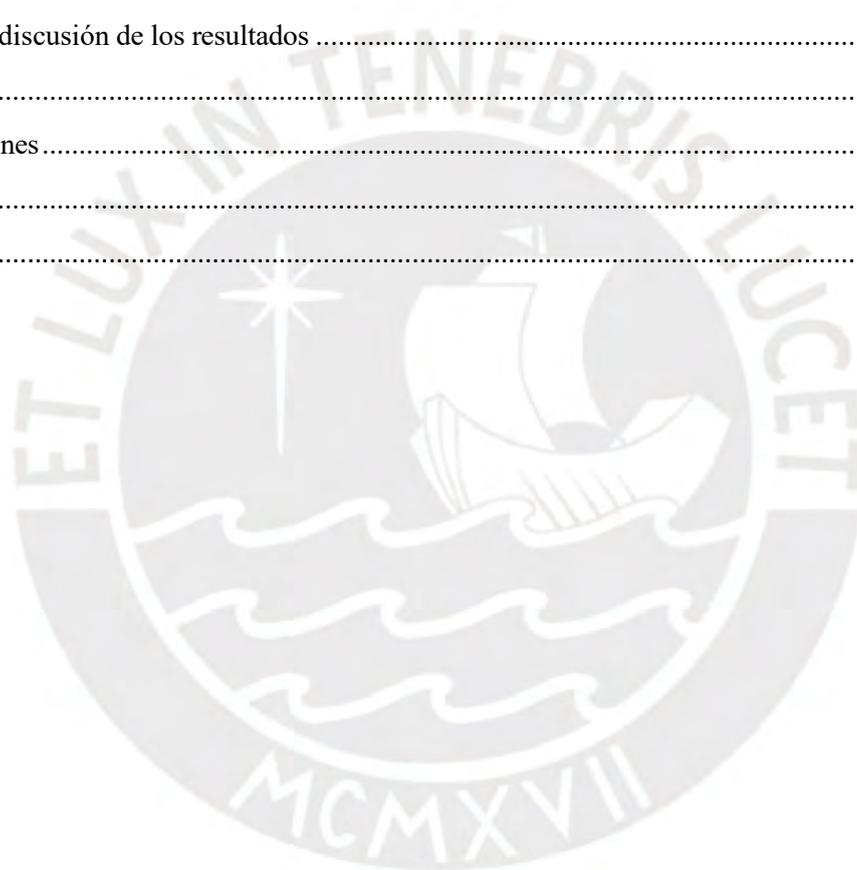
Al colegio “Fe y Alegría N°39”, por darme una formación sólida durante mi etapa escolar.

A Omar Ch., Raúl C., Gino M., Jeyson R, Julio M. y Manuel A. por la amistad, apoyo y confianza brindada.

CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1: Cultivo de uvas: Definición y problemática.....	2
1.1 Definición.....	2
1.2 El cultivo de uvas en nuestro país	2
1.3 El cultivo de uvas en el mundo	3
1.4 La vid.....	3
1.4.1 La baya.....	3
1.4.2 La uva.....	4
1.4.3 El racimo	4
1.4.4 Maduración y recolección	4
1.4.5 Operaciones para mejorar la calidad de los racimos durante la maduración	4
1.5 Declaración de la Problemática	5
1.6 Objetivos de la investigación.....	6
1.6.1 Objetivo principal.....	6
1.6.2 Objetivos específicos.....	6
Capítulo 2: Sistemas de conteo de uva: Estado del arte, métodos de conteo y procesamiento de imágenes.....	7
2.1 Estado del Arte	7
2.2 Algoritmos diseñados para el conteo de uva	7
2.2.1 Método de la detección del punto clave.....	7
2.2.2 Método utilizando técnicas de visión artificial	11
2.3 Método de la detección del punto clave vs Método utilizando técnicas de visión artificial	13
CAPÍTULO 3: Diseño e implementación del algoritmo para el conteo de bayas de uva de mesa Thompson Seedless	14
3.1 Adquisición de datos	14
3.2 Base de datos.....	18
3.2.1 Imágenes capturadas.....	18
3.2.1.1 Factores controlables y no controlables.....	21
3.2.2 Conteo manual de las uvas Thompson Seedless	22
3.3 Metodología empleada en los algoritmos	23
3.4 Procesamiento y Detección de características de las imágenes	23

3.4.1 Método identificando el punto clave en bayas de 4mm y 14mm de diámetro máximo durante el día	23
3.4.2 Método identificando el punto clave mediante el análisis de píxeles en bayas de 14mm de diámetro máximo durante la noche.....	30
.....	32
CAPÍTULO 4: Discusión, análisis y resultados.....	56
4.1 Método identificando el punto clave en bayas de 4mm y 14mm de diámetro máximo durante el día	56
4.2 Método identificando el punto clave mediante el análisis de píxeles en bayas de 14mm de diámetro máximo durante la noche.....	57
4.3 Comparación entre resultados de los métodos aplicados.....	59
4.4 Análisis y discusión de los resultados	60
Conclusiones	60
Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62
Anexos.....	64



INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Detalles de las imágenes capturadas en tiempo real por la cámara SONY NEX-7.	18
Tabla 3.2 Detalles de las imágenes capturadas en tiempo real por la cámara trasera del Smartphone Android Samsung Galaxy S4.	18
Tabla 3.3 Base de datos y selección de fotografías aptas para procesar	19
Tabla 3.4 Factores controlables y no controlables en las imágenes capturadas.....	21
Tabla 3.5 Clasificación de las bayas de 4mm de diámetro máximo – turno mediodía.....	22
Tabla 3.6 Niveles de intensidad.....	41
Tabla 3.7 Niveles de intensidad.....	41
Tabla 3.8 Niveles de intensidad.....	42
Tabla 3.9 Niveles de intensidad.....	42
Tabla 3.11 Niveles de intensidad.....	43
Tabla 3.12 Niveles de intensidad.....	44
Tabla 3.13 Niveles de intensidad.....	44
Tabla 3.14 Niveles de intensidad.....	46
Tabla 3.15 Niveles de intensidad.....	46
Tabla 3.16 Niveles de intensidad.....	47
Tabla 3.17 Niveles de intensidad.....	47
Tabla 3.18 Niveles de intensidad.....	48
Tabla 3.19 Niveles de intensidad.....	48
Tabla 3.21 Niveles de intensidad.....	49
Tabla 3.22 Niveles de intensidad.....	51
Tabla 3.23 Niveles de intensidad.....	51
Tabla 3.24 Niveles de intensidad.....	52
Tabla 3.25 Niveles de intensidad.....	52
Tabla 3.26 Niveles de intensidad.....	53
Tabla 3.27 Niveles de intensidad.....	53
Tabla 3.28 Niveles de intensidad.....	54
Tabla 3.29 Niveles de intensidad.....	54
Tabla 4.1 Resultado de las bayas de 4mm de diámetro máximo – turno mediodía.....	56
Tabla 4.2 Resultado de las bayas de 14mm de diámetro máximo – turno 3:45pm.....	57
Tabla 4.3 Resultado de las bayas de 14mm de diámetro máximo – turno noche.....	58
Tabla 4.4 Comparación de resultados totales.	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Conteo y recolección manual de uvas de mesa. [10]	5
Figura 2.1	Comportamiento de la uva. [5]	9
Figura 2.2	Comportamiento de la manzana. [5]	9
Figura 2.3	Superposición con una hoja. [6]	9
Figura 2.4	Pasos para identificar diferentes puntos de la fruta. [5]	10
Figura 2.5	Creación de descriptores [5]	11
Figura 2.6	Algoritmo propuesto. [6]	11
Figura 2.7	Mapeo de polígonos. [6]	12
Figura 3.1	Diagrama de bloques de requerimientos iniciales para el diseño e implementación del algoritmo	14
Figura 3.2	Uva de mesa Thompson Seedless de 4mm de diámetro máximo promedio aproximadamente	15
Figura 3.3	Uva de mesa Thompson Seedless de 14mm de diámetro máximo promedio aproximadamente	15
Figura 3.4	Vitícola S.A.C, uva de mesa Thompson Seedless con 4mm de diámetro en el Lote 389 A en las plantas # 16, 17 y 18	16
Figura 3.5	Zona inferior y superior de las bayas a contar, además de la distancia de la zona a fotografiar	16
Figura 3.6	Distancia de la posición de la cámara (punto A) respecto al suelo y a las bayas a contar	17
Figura 3.7	Uva de mesa Thompson Seedless con 4mm de diámetro en la planta #16 con ángulo de 60° respecto al suelo aproximadamente	19
Figura 3.8		20
Figura 3.9		20
Figura 3.10	Uva de mesa Thompson Seedless con 4mm de diámetro en la planta #16 con ángulo de 60° respecto al suelo aproximadamente	20
Figura 3.11	Diagrama de bloques del método identificando el punto clave en bayas de 4mm y 14mm de diámetro máximo durante el día	24
Figura 3.12	Figura original de bayas con diámetro máximo de 4mm de nuestra base de datos (planta 18 – zona superior)	25
Figura 3.13	Imagen a escala de grises	25
Figura 3.14	Imagen con niveles de intensidad entre 100 y 180.	26
Figura 3.15	Imagen con ecualización adaptiva	27
Figura 3.16	Imagen en binario	28
Figura 3.17	Imagen con áreas definidas etiquetadas	29
Figura 3.18	En la figura se puede notar, mediante el acercamiento realizado a una baya, como disminuye la intensidad alrededor del punto de referencia. En este caso se observa la posición de la fila 211 y la columna 110 de la imagen Iescaladiag (x, y). Notar que esta coordenada se encuentra almacenada en los vectores $filsinborde(d)$ y $colsinborde(d)$	30
Figura 3.19	En la imagen se muestra los 8 sectores que se analizaron alrededor del punto clave de una baya	31
Figura 3.21	Figura original de bayas con diámetro máximo de 14mm de nuestra base de datos turno noche (planta 16 – zona inferior)	33
Figura 3.22	Figura original de bayas con diámetro máximo de 14mm de nuestra base de datos turno noche (planta 16 – zona inferior)	33

Figura 3.23 Imagen con ecualización adaptiva.....	34
Figura3.24 Imagen reducida a su décima parte	35
Figura 3.25 En la imagen se puede apreciar algunas coordenadas de la imagen Iescala (x, y) que coinciden con las coordenadas de la imagen Iescaladiag (x, y)	38
Figura3.26 a) Baya a escala real, b) coordenada del punto clave detectado a escala real, c) tabla que muestra los puntos alrededor del punto clave en un radio de 5 píxeles.	40
Figura 3.27 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	41
Figura 3.28 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	41
Figura 3.29 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	42
Figura 3.31 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	43
Figura 3.32 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	43
Figura 3.33 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	44
Figura 3.34 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	44
Figura 3.35 a) Rama a escala real, b) coordenada del punto clave detectado a escala real, c) tabla que muestra los puntos alrededor del punto clave en un radio de 5 píxeles.	45
Figura 3.36 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	46
Figura 3.37 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	46
Figura 3.38 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	47
Figura 3.39 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	47
Figura 3.41 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	48
Figura3.42 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático	49
Figura 3.43 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	49
Figura 3.44 a) Hoja a escala real, b) coordenada del punto clave detectado a escala real, c) tabla que muestra los puntos alrededor del punto clave en un radio de 5 píxeles.	50
Figura 3.45 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	51
Figura3.46 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático....	51
Figura 3.47 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	52
Figura 3.48 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	52
Figura 3.49 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	53
Figura 3.50 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	53
Figura 3.51 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	54
Figura 3.52 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.	54
Figura 3.53 Puntos a eliminar presentes en una rama.....	55
Figura 3.54 Marcadores ubicados en la imagen a escala real	55
Figura 4.1 Imagen con bayas de 14mm de diámetro máximo en turno noche.....	60

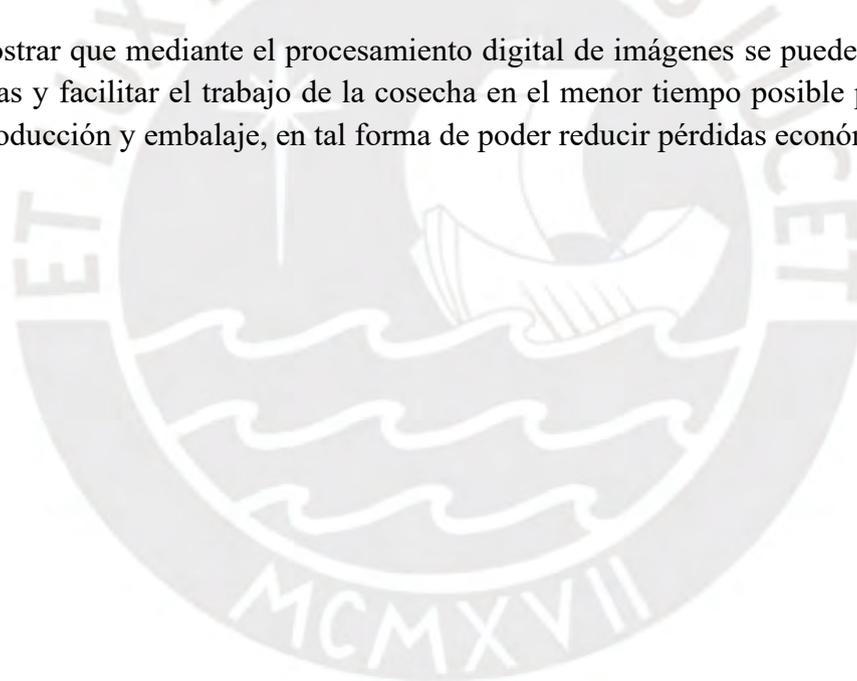
Introducción

La uva de mesa es uno de los productos más cotizados en la costa del Perú en la actualidad. El mismo factor se cumple en otras zonas fuera del país como Chile, Italia, etc. Es un hecho que la estimación del rendimiento de producción de la uva es una componente vital para el crecimiento de la cosecha.

Hay varias maneras y tiempos para estimar este rendimiento, pero el enfoque primordial en los fundos es el procedimiento para realizar la cosecha. Actualmente el conteo de uvas se realiza de manera manual y trae como consecuencias un alto margen de error al momento de estimar la producción y para el cálculo de embalaje.[10]. Es importante notar que las estimaciones del rendimiento se pueden utilizar para determinar el nivel de cosecha.

Por tal motivo se implementará dos algoritmos para realizar el conteo de uvas de mesa, se tendrá como referencia las uvas de mesa Thompson Seedless y así reducir el margen de error al momento de contar en comparación con el conteo manual.

Se va a demostrar que mediante el procesamiento digital de imágenes se puede simplificar el conteo de uvas y facilitar el trabajo de la cosecha en el menor tiempo posible para un mejor cálculo de producción y embalaje, en tal forma de poder reducir pérdidas económicas.



Capítulo 1: Cultivo de uvas: Definición y problemática.

1.1 Definición

Las uvas frescas, de mesa o grano de uva es el fruto que crece formando racimos de la vid común o vid europea. Pertenece al género *Vitis* de la familia de las Vitáceas. La composición de la uva varía según se trate de uvas blancas o negras; en ambas destacan dos tipos de nutrientes: los azúcares, principalmente glucosa y fructuosa, son muy energéticas y nutritivas. Se comen fresca o se utilizan para producir licores como el vino, mosto, brandy, vinagre y pisco. [1] Para nuestro asunto de estudio se trabajará con la uva de mesa Thompson Seedless, es la variedad de uva de mesa apirena más extendida y cultivada en el mundo, tanto para consumo en fresco como para pasas. Se producen en racimos de tamaño medio a grande, alado y excesivamente compacto, presenta bayas pequeñas, de color verde-amarillo y de sabor neutro. [7]

1.2 El cultivo de uvas en nuestro país

Perú cuenta con el 80% de los climas existentes en el mundo, lo que le permite excelentes condiciones para la producción de uva en sus diferentes variedades. [2]

La uva de mesa peruana es reconocida por su excelente sabor, calidad y por sus adecuados procesos sanitarios. La Asociación de Productores de Uva de Mesa del Perú – Provid, es una asociación sin fines de lucro que fue creada en el año 2001, y que actualmente representa más del 80% del volumen exportado de uva de mesa peruana al mundo. Sus asociados están ubicados en la costa del Perú, favorecidos por climas aptos para el cultivo de uva de distintas variedades tales como la Redglobe, Flame Seedless, Sugraone, Thompson Seedless, Crimson Seedless, entre otras; lo que permite tener una producción que va desde el mes de Octubre hasta Marzo. [2]

La uva, sin lugar a duda, ha aumentado su producción en comparación a otros productos, hasta hace algunos años, el café era el producto agroexportador que más se exportaba en volumen y valor, pero la uva trepó al primer lugar al pasar de US\$642 millones en el 2014 a US\$695 millones en el 2015, es decir un alza del 8,2%. Esto obedece a que se han abierto nuevos mercados, y eso hace que la demanda también se incremente. [8]

La industria de la uva de mesa en el Perú y el sector agrícola en general está atravesando grandes retos y una gran incertidumbre que la pone en riesgo, no solo por factores externos, como la guerra, la inflación económica mundial, el alza de los costos logísticos, sino especialmente por factores internos como manifestaciones y protestas, de evidente trasfondo

político. Ante esta inestabilidad política y social que vive el país, que retrae el desarrollo y bienestar de los peruanos, los empresarios agrarios, especialmente los del sector uva de mesa, siguen demostrando una gran eficiencia y una apuesta total por la innovación y tecnología. [3]

1.3 El cultivo de uvas en el mundo

Los mayores productores de uva de mesa son China, Turquía e Italia. Estos tres, y otros países del hemisferio norte representan casi el 70 por ciento de la producción de uva de mesa. Los países productores del hemisferio sur como Chile, Argentina, Brasil, Sudáfrica y Australia son exportadores cada día más importante. Entre las nuevas potencias de exportación de uva está Egipto, favorecido por las condiciones climáticas óptimas para la obtención de producciones de variedades precoces de uvas apirenas sin semillas. La producción de uva de mesa italiana es la más valorada en exportación de fruta italiana en el mundo y es fuertemente orientada hacia las variedades con semillas, gracias a las extraordinarias características productivas y organolépticas de la más importante variedad, la uva Italia, que ha permitido a los productores de tener una óptima rentabilidad por más de treinta años. [4]

1.4 La vid

La vid o parra es la planta que produce las uvas. La vid requiere terreno rico en potasa (hidróxido de potasio) y que sea permeable y no muy húmedo; cuando el cultivo de la vid se realiza en terrenos fértiles y frescos, la cantidad de fruta aumenta, pero su calidad se pierde. [9]

1.4.1 La baya

Una baya es el tipo más común de fruto carnoso simple, en el cual la pared entera del ovario madura, generalmente, en un pericarpio carnoso y comestible. Ejemplos de bayas son la uva

y el tomate, pero muchas otras frutas comunes se consideran botánicamente como bayas: los hesperidios como naranja y limón son bayas modificadas. [9]

1.4.2 La uva

La uva es una fruta obtenida de la vid. Las uvas vienen en racimos, son pequeñas y dulces. Se comen frescas o se utilizan para producir agraz, mosto, vino, vinagre y pisco. Crecen agrupadas en racimos de entre 6 y 300 uvas. Pueden ser negras, moradas, amarillas, doradas, púrpura, rosadas, marrones, anaranjadas o blancas. [9]

1.4.3 El racimo

El racimo es un tipo de inflorescencia indefinida, racimosa o racemosa, caracterizado por presentar un eje o raquis que crece indefinidamente mientras que a los costados se producen las yemas florales pediceladas que se abren a medida que aquel desarrolla. [9]

1.4.4 Maduración y recolección

La maduración consiste en los cambios en el aspecto y composición interna al final del crecimiento de los racimos. Esto provoca que las uvas alcancen la textura, color, aroma y sabor. Para determinar la recolección de los racimos, se debe identificar la madurez hortícola en la uva, esto significa que la uva está en su momento óptimo para ser recolectado y cuenta con sus mejores características organolépticas (madurez de consumo). La recolección de la uva de mesa se realiza con tijeras cortando los racimos por el pedúnculo, realizando varios pases ya que no todos los racimos maduran a la vez, colocándolos en bandejas o cajas para luego aplicar su respectivo embalaje. Las necesidades de mano de obra son bastante elevadas por ser un fruto muy delicado. [4]

1.4.5 Operaciones para mejorar la calidad de los racimos durante la maduración

El aclareo de bayas o cincelado consiste en suprimir algunas bayas del racimo, cuando el tamaño de éstas aún no es muy grande, preferentemente del interior del mismo, reduciendo la compacidad. Se emplean pequeñas tijeras con bordes redondeados para evitar dañar las uvas.

Este aclareo de bayas dentro del racimo no es muy frecuente, ya que requiere una gran cantidad de mano de obra que lo hace muy costoso. Por otro lado, el anillado al inicio de la maduración puede mejorar la uniformidad en el color de las bayas y adelantar la maduración, incrementando los niveles de azúcar. Finalmente, una restricción del riego durante la maduración del fruto puede adelantar la recolección, incrementar el contenido en azúcares y mejorar la coloración de las uvas. En uva de vinificación esta práctica suele ser habitual. Sin embargo, en uva de mesa, la aplicación de riego deficitario durante la maduración puede afectar el tamaño de la baya, muy importante para la comercialización. [4]



Figura 1.1 Conteo y recolección manual de uvas de mesa. [10]

1.5 Declaración de la Problemática

El problema de la detección y conteo de uvas de mesa en el cultivo juega un rol importante en el trabajo de la estimación. En la actualidad el conteo manual de bayas de uva de mesa se lleva a cabo en muchos lugares, esta técnica manual tiene muchos inconvenientes ya que demanda de mucho tiempo y requiere diferentes procesos manuales.

Por otro lado, se debe solicitar la cotización de empaque y embalaje de uvas de mesa con anticipación, definiéndose los volúmenes desde campo por el cual se realiza manualmente antes de la cosecha. Este conteo de uvas demanda de tiempo y tiene un margen de error

moderado. Este margen de error trae como consecuencia comprar un exceso de embalaje por lo cual el embalaje que no se usa se desecha debido a que anualmente se fabrican diferentes diseños de embalaje.

1.6 Objetivos de la investigación

1.6.1 Objetivo principal

Crear un algoritmo que permita identificar la cantidad total de uvas de mesa en un campo de cultivo logrando mayor precisión que el conteo manual y así reducir pérdidas de embalaje.

1.6.2 Objetivos específicos

- Diseñar con las herramientas del MATLAB un algoritmo eficiente para lo requerido.
- Ajustar ciertos parámetros al momento de procesar las imágenes para detectar las bayas, logrando mayor precisión que el conteo manual.
- Identificar el método óptimo para el conteo de bayas de uvas de mesa.
- Obtener una base de datos confiable para el análisis de resultados.

Capítulo 2: Sistemas de conteo de uva: Estado del arte, métodos de conteo y procesamiento de imágenes.

En este capítulo se describirá el estado del arte, y la teoría matemática que utilizan los algoritmos diseñados para el conteo de uva de mesa que luego se verán sus aplicaciones en el capítulo 3.

2.1 Estado del Arte

Perú cuenta con el 80% de los climas existentes en el mundo, lo que le permite excelentes condiciones para la producción de uva en sus diferentes variedades. [2]

La uva de mesa peruana es reconocida por su excelente sabor, calidad y por sus adecuados procesos sanitarios. [2]

En el ámbito de la investigación científica se están desarrollando técnicas para conteo de frutas como las manzanas, los plátanos y otros frutos que son accesibles de contar por medio de procesamiento de imágenes y ya se están aplicando en el mercado; en cambio, en lo que respecta al conteo de uvas de mesa, no se ha podido diseñar métodos tecnológicos hasta la actualidad que permitan tener una fidelidad para su uso en el mercado.

2.2 Algoritmos diseñados para el conteo de uva

En el presente capítulo se definen los conceptos teóricos sobre los dos algoritmos desarrollados para el conteo de bayas y manzanas, se evaluarán que ventajas y desventajas presenta cada uno de ellos.

2.2.1 Método de la detección del punto clave.

Se pueden identificar un sinnúmero de problemas para la detección de la fruta en ambientes de campo no estructurados. Esto puede ser la gran variación de iluminación ambiente dando como consecuencia alto contraste en la imagen al momento de captarlas por fotografía. La gran variación de la iluminación natural puede ser superada mediante la toma de la imagen empleando la opción de flash en la cámara. [5] y [11]

Para identificar lugares potenciales de frutas mediante la localización de puntos radialmente simétricos, Nuske presenta un método que utiliza el sombreado distinto en el fruto producido por el flash de la cámara y se puede ejecutar en menos de 0.2 segundos por imagen. Este efecto del flash generado en el centro del fruto se le considera punto clave y está relacionado por el nivel de intensidad que se genera en comparación a la iluminación natural. Aquí se presenta un algoritmo de detección de punto significativo que utiliza los patrones en el perfil de intensidad y gradiente. El objetivo de la detección del punto clave es encontrar ubicaciones potenciales de la fruta con un alto porcentaje de la fruta real. [5]

El proceso para sintetizar lo detallado anteriormente es:

-Detección del punto clave: Se describirá la máxima invariante angular. El detector localiza el centro de la fruta utilizando el perfil de intensidad distinta y el patrón de orientación de gradiente de la superficie de la fruta. [5]

A continuación, se describirá los términos y variables utilizados en esta técnica:

- SP: Puntos de semilla, puntos correspondientes a la máxima región.
- X_m, Y_m es la representación de las coordenadas de SP.
- r : Radio de SP.
- θ : ángulo en un sector determinado.
- I : monocanal de 8 bits de una imagen en escala de grises.
- $I(X_m, Y_m, r, \theta)$ = retorna el valor de la intensidad de un pixel en la siguiente coordenada $(X_m + r \cos(\theta), Y_m + r \sin(\theta))$.
- S_j : sector correspondiente para el ángulo de barrido θ .
- $L(i)$: simple barrido de línea en sector S .

Máxima Invariante Angular: En el centro de la fruta redonda se puede ubicar la máxima intensidad y esta se reduce hacia los bordes de la fruta. El patrón de intensidad formada sobre la superficie de la fruta, es visible como bandas concéntricas de intensidad decreciente en la imagen en escala de grises I y la orientación del gradiente $\arctan \frac{\partial I}{\partial y}, \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)$ en cada punto de la superficie de la fruta es dirigido hacia el centro de la fruta formando un fácil patrón angular identificable. [5]

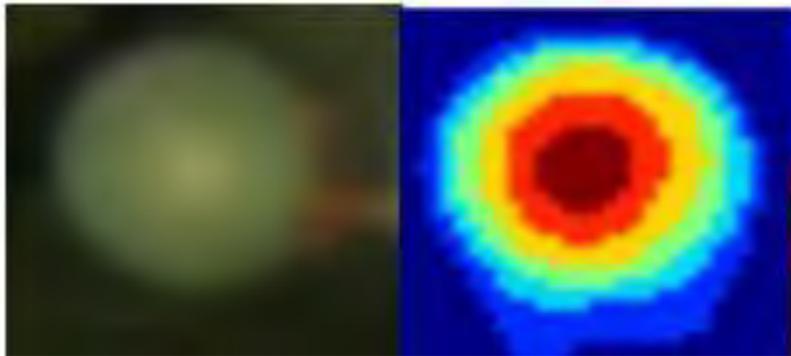


Figura 2.1 Comportamiento de la uva. [5]

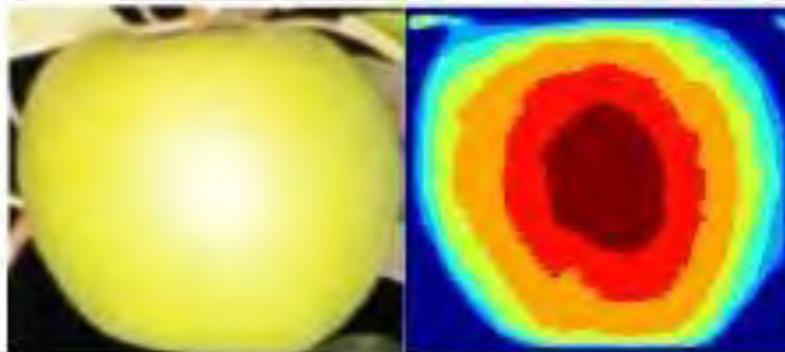


Figura 2.2 Comportamiento de la manzana. [5]

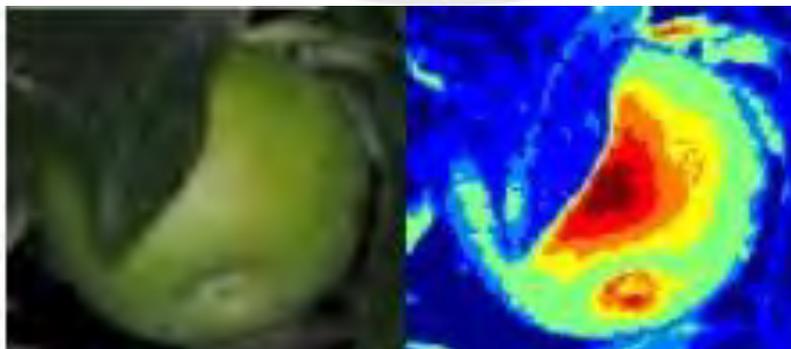


Figura 2.3 Superposición con una hoja. [6]

Para encontrar posibles centros de la fruta, se trata de localizar los puntos de semilla (SP = X_m, Y_m) a través de toda la imagen, en los máximos locales $\frac{\partial I(X_m, Y_m, r, \theta)}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0$. Luego se examina la región $I(X_m, Y_m, r, \theta)$ alrededor de los puntos de semilla para determinar si coinciden con los patrones ideales. Para esto la región de SP se divide en 8 sectores $\{S_1, \dots, S_8\}$. Cada sector está creciendo radialmente hacia fuera a lo largo de tres líneas de barrido $\{L_0(r, \theta), L_1(r, \theta + \frac{\pi}{12}), L_2(r, \theta + \frac{\pi}{6})\}$. Las líneas de exploración se cultivan sólo si la intensidad de los puntos de la línea de exploración disminuye monótonicamente con r y si la diferencia en la intensidad del punto de semilla SP y los puntos de la línea de exploración son superiores a un umbral N . Las condiciones son expresados de la siguiente forma como $I(X_m, Y_m, r, \theta) > N * I(X_m, Y_m, 0, \theta)$. [5]

Se considera que un centro es válido si la mitad de sectores tienen un número mínimo de bandas de intensidad y si la orientación de los sectores coincide con el ángulo del sector del gradiente dominante. [5]

Este enfoque no requiere entradas adicionales y es efectivo sobre diferentes variedades de uva y manzana de diversos tamaños según el autor. [5]

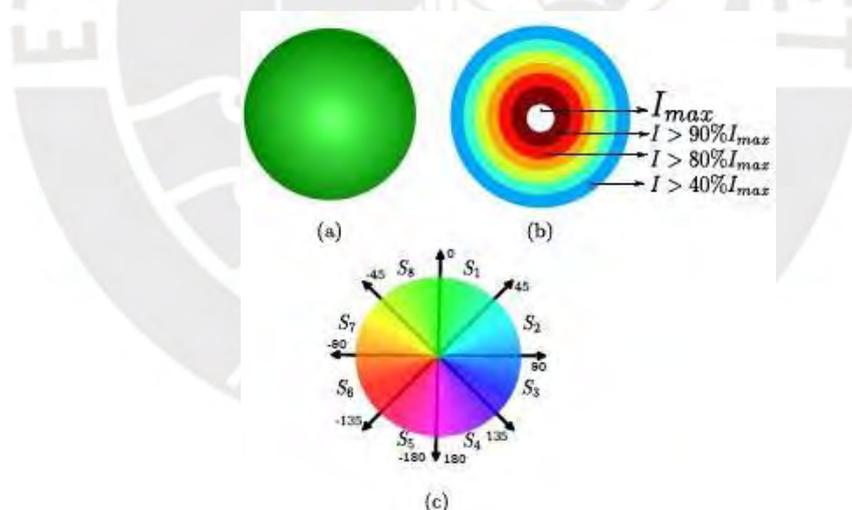


Figura 2.4 Pasos para identificar diferentes puntos de la fruta. [5]

-Descriptor de función: Una vez identificado todos los puntos clave se generan diferentes descriptores a los puntos claves identificados en los pasos anteriores. Extraemos un parche circular de radio R , para cada punto de la imagen en escala de grises. Luego creamos círculos concéntricos de radios crecientes de un punto significativo. [5]



Figura 2.5 Creación de descriptores [5]

2.2.2 Método utilizando técnicas de visión artificial

Este método tiene como objetivo desarrollar la detección de las manzanas en los árboles.

Aquí presentamos el diagrama de flujo propuesto:

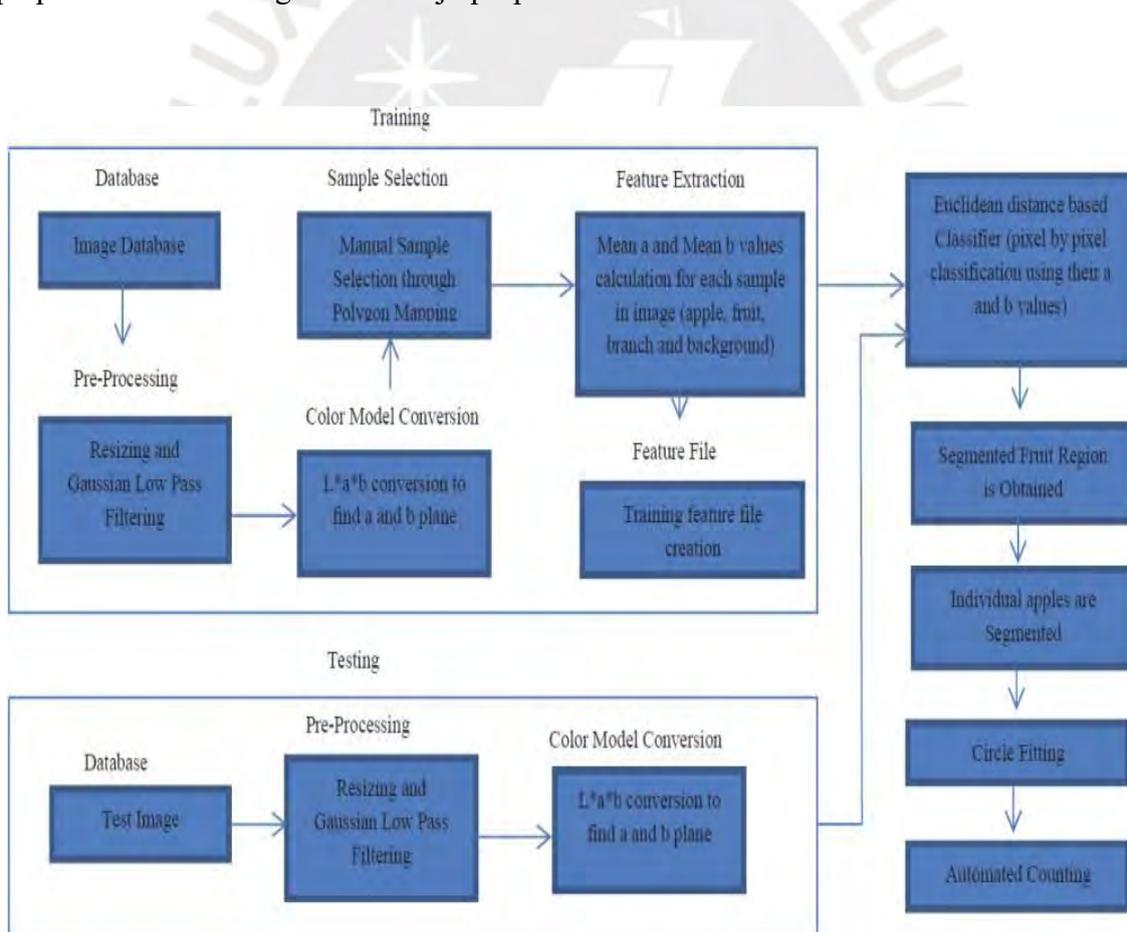


Figura 2.6 Algoritmo propuesto. [6]

Lo que se hace inicialmente es adquirir las imágenes correspondientes para el análisis. Luego se convierte la imagen en la forma adecuada para el análisis utilizando el Filtro de Gauss para difuminar las imágenes para que los bordes no sean muy afilados. El filtro es una máscara de píxeles de 7×7 con la desviación estándar de 128, que limita las frecuencias de imagen a menos de 128 MHz. [6]

Con el mapeo de polígono se identifica las regiones de fruta, hoja y rama, este proceso es eficiente ya que ayuda a seleccionar la región de color deseado para la segmentación. [6], [12], [13] y [14]



Figura 2.7 Mapeo de polígonos. [6]

La formación de generación de funciones de la muestra, después de la asignación de polígonos, son en forma binaria. Estas muestras se multiplican con la imagen original para obtener las muestras RGB que identifican parámetros en L^*a^*b del espacio del color. El L^*a^*b de color se utiliza como un método para la segmentación. “L” representa la claridad, “a” denota ejes rojos o verdes, “b” denota eje amarillo o azul. Entonces la media de “a” y “b” se utiliza para la segmentación. Este proceso es repetido para el total de 25 imágenes de la base de datos para la fruta, hojas, ramas y fondo. Toda esta información se almacena en un archivo de función para luego utilizar este archivo para segmentar la imagen de prueba sobre la base de mínimo euclidiano, comparación basada en distancia. [6]

2.3 Método de la detección del punto clave vs Método utilizando técnicas de visión artificial.

Para el método de la detección del punto clave se utilizó un sistema de formación de imágenes que consiste en un par de cámaras RGB y un par de destellos que están configurados para trabajar bajo el desenfoco de movimiento, captura de una mayor profundidad de foco, y utiliza energía de baja iluminación que permiten las altas tasas de fotograma. Este diseño de la cámara y la iluminación mantiene una alta calidad de imagen con altas velocidades de los vehículos y permite que se instalen a grandes escalas. El sistema de formación de imágenes es montado en un lado del vehículo de granja frente a la pared de la fruta. Las imágenes fueron capturadas a 5Hz. Bajo esta técnica y elementos utilizados se ha logrado obtener un 82 % de precisión respecto al conteo manual tomando el promedio de 10 imágenes.

En cambio, para realizar las pruebas utilizando técnicas de visión artificial se realizó manualmente las fotografías generando una base de datos de prueba obteniendo una cierta cantidad de imágenes de manzanas. El autor no plantea un porcentaje de precisión debido a que solo se base en el análisis de una imagen, pero se llega a la conclusión de que éste método es más complejo que el método anterior y resuelve el problema de superposición de frutas en el momento de capturar las imágenes.

Estas conclusiones se determinan por pruebas elaborados por dichos autores, en el siguiente capítulo se describirá paso a paso los algoritmos desarrollados tomando como punto de partida el algoritmo desarrollado por Nuske trabajando por medio de la detección del punto clave de una baya de uva de mesa.

CAPÍTULO 3: Diseño e implementación del algoritmo para el conteo de bayas de uva de mesa Thompson Seedless.

En este capítulo se define los requerimientos necesarios para diseñar e implementar los algoritmos para el conteo de uvas Thompson Seedless. Se describirá paso a paso las etapas de los algoritmos.



Figura 3.1 Diagrama de bloques de requerimientos iniciales para el diseño e implementación del algoritmo.

3.1 Adquisición de datos

En el fundo Vitícola S.A.C, cuya dirección es Cal.bolivar Nro. 369 Ica - Nazca, se tomaron las fotografías de las bayas de uva de mesa Thompson Seedless. Como se muestra en la figura 3.1, las bayas tienen forma elíptica, se tomará el diámetro máximo promedio como parámetro para definir los tres tipos de muestras obtenidas. Se recolectaron muestras de bayas con diámetro de 4mm máximo en octubre y de 14mm máximo en noviembre. Cabe resaltar que las fotografías tomadas a las bayas de 4mm de diámetro fueron tomadas al mediodía, donde se pudo apreciar buena iluminación ambiente. Las fotografías a las bayas de 14mm fueron tomadas en dos turnos, a las 3:45pm aproximadamente, donde la iluminación ambiente estuvo reducida en un 30% y a las 8:00pm donde la iluminación ambiente estuvo reducida en un 100%, en ambos turnos se pudo apreciar el efecto del flash de la cámara hacia las bayas.



Figura 3.2 Uva de mesa Thompson Seedless de 4mm de diámetro máximo promedio aproximadamente.



Figura 3.3 Uva de mesa Thompson Seedless de 14mm de diámetro máximo promedio aproximadamente.



Figura 3.4 Vitícola S.A.C, uva de mesa Thompson Seedless con 4mm de diámetro en el Lote 389 A en las plantas # 16, 17 y 18.

Para adquirir la base de datos se tomaron varias fotografías frontales, con un ángulo de 20° a la parte inferior y un ángulo de 60° a la parte superior respecto al suelo a las plantas #16, #17 y #18, de tal manera que se pueda capturar todas las uvas que ocupan este espacio en la distancia de muestreo, estos ángulos de referencia son aproximados. La distribución de las plantas y la posición en las que fueron capturadas se muestran en las figuras 3.5 y 3.6. Las fotografías fueron capturadas con dos cámaras, la primera muestra con las bayas de 4mm de diámetro máximo fueron capturadas con la cámara SONY de modelo NEX-7 con una distancia focal de 18mm, balance de blanco automático, brillo y contraste normal, la segunda y tercera muestra con las bayas de 14mm fueron capturadas con la cámara trasera de 13 megapíxeles del Smartphone Android Samsung Galaxy S4. En la tabla 3.1 Y 3.2 se muestran las características de las imágenes capturadas en tiempo real.

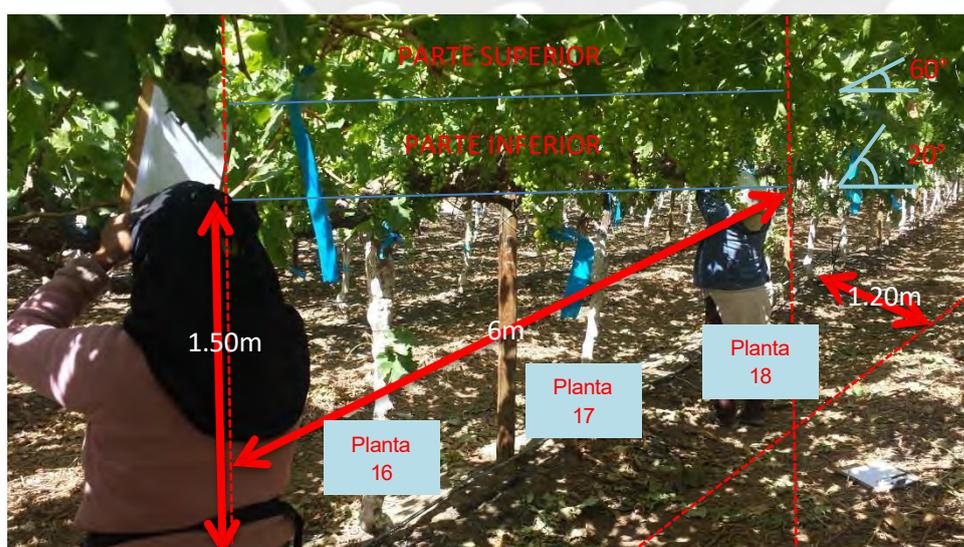


Figura 3.5 Zona inferior y superior de las bayas a contar, además de la distancia de la zona a fotografiar.

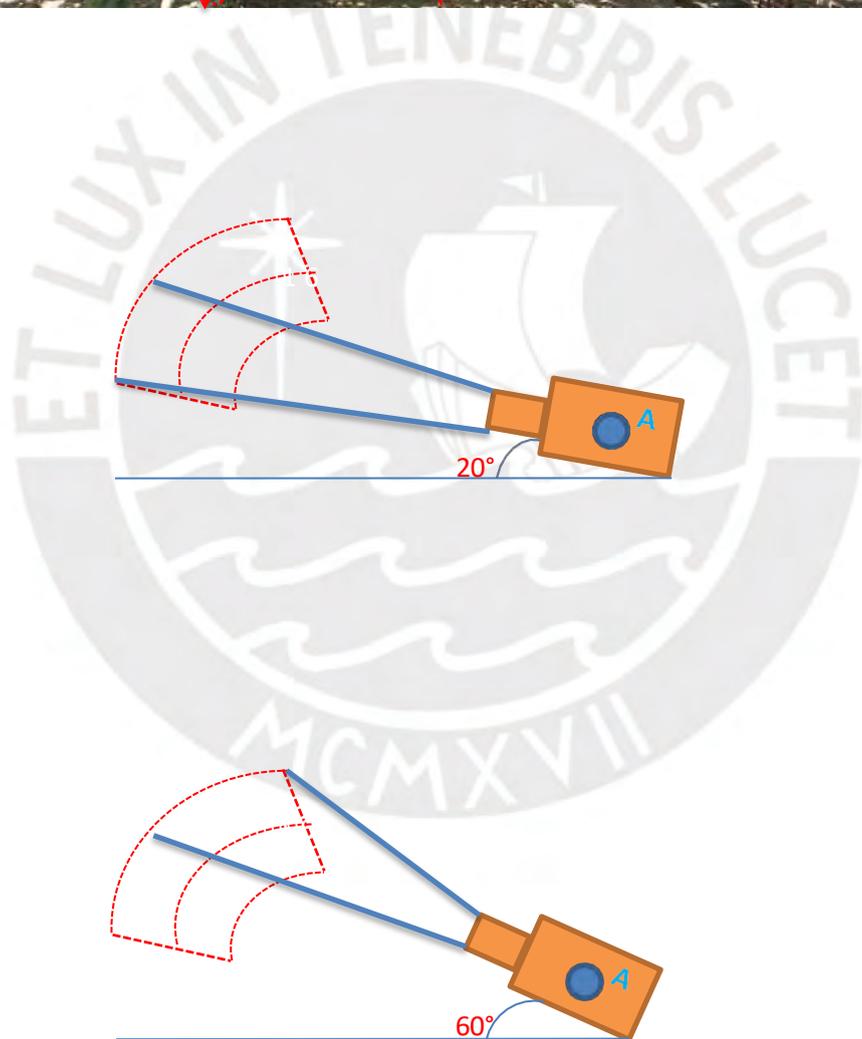
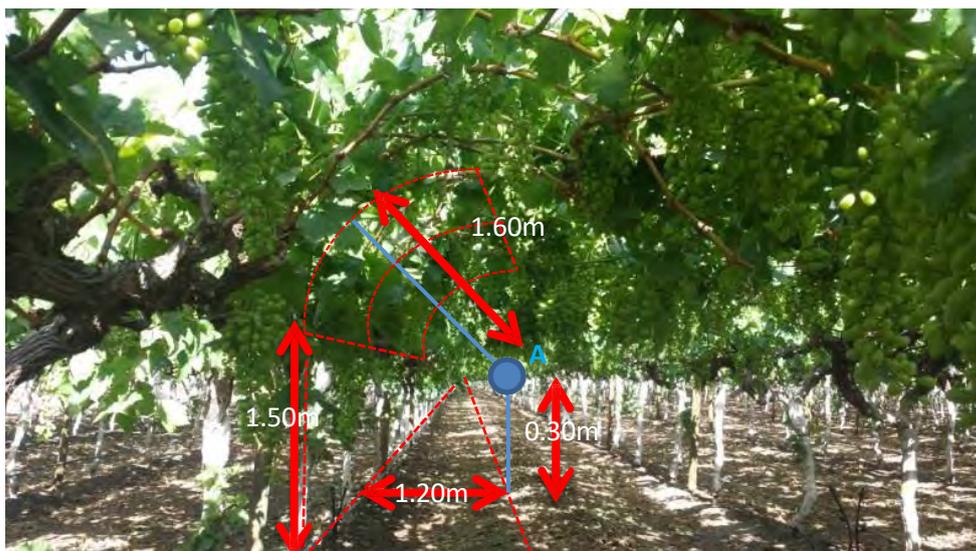


Figura 3.6 Distancia de la posición de la cámara (punto A) respecto al suelo y a las bayas a contar.

Tabla 3.1 Detalles de las imágenes capturadas en tiempo real por la cámara SONY NEX-7.

Ancho	6000 píxeles
Alto	4000 píxeles
Resolución horizontal	350 ppp
Resolución vertical	350 ppp
Profundidad en bits	24
Unidad de resolución	2
Representación del color	sRGB
Bits comprimidos / píxel	3
Lúmenes del flash	20-30

Tabla 3.2 Detalles de las imágenes capturadas en tiempo real por la cámara trasera del Smartphone Android Samsung Galaxy S4.

Ancho	4128 píxeles
Alto	2322 píxeles
Resolución horizontal	72 ppp
Resolución vertical	72 ppp
Profundidad en bits	24
Unidad de resolución	2
Representación del color	sRGB
Bits comprimidos / píxel	3
Lúmenes del flash	50

El desarrollo del algoritmo de conteo de uvas propuesto en esta tesis no trabajará en tiempo real, sino por el contrario, se va a trabajar en base a las fotografías captadas. Estas imágenes serán procesadas mediante dos algoritmos desarrollados con el software MATLAB 2014a y una computadora con procesador Intel(R) Core (TM) i5-4670k CPU a 3.40Ghz.

3.2 Base de datos

A continuación, se detallará la cantidad total de fotografías captadas y la forma en que fueron distribuidas para su posterior análisis.

3.2.1 Imágenes capturadas

Las fotografías utilizadas en esta tesis fueron captadas respetando los parámetros indicados anteriormente. Es importante indicar que algunas fotografías del banco de datos han sido excluidas por exceso de iluminación como se muestra en la figura 3.7, por no estar a la distancia adecuada como la figura 3.8, figura 3.9 y por el efecto de las sombras de las hojas como la figura 3.10.

Tabla 3.3 Base de datos y selección de fotografías aptas para procesar.

Total de fotografías capturadas.	111
Fotografías con exceso de iluminación (ejemplo figura 3.5).	12
Fotografías con distancia inadecuada (ejemplo figura 3.6, figura 3.7).	55
Fotografías con sombras (ejemplo figura 3.8).	11
Fotografías mal capturadas.	15
Total de fotografías a analizar	18

En la figura 3.7 se puede observar el efecto del exceso de iluminación que no permite apreciar las uvas de manera apropiada, generando alto margen de error en el momento de procesar la imagen.

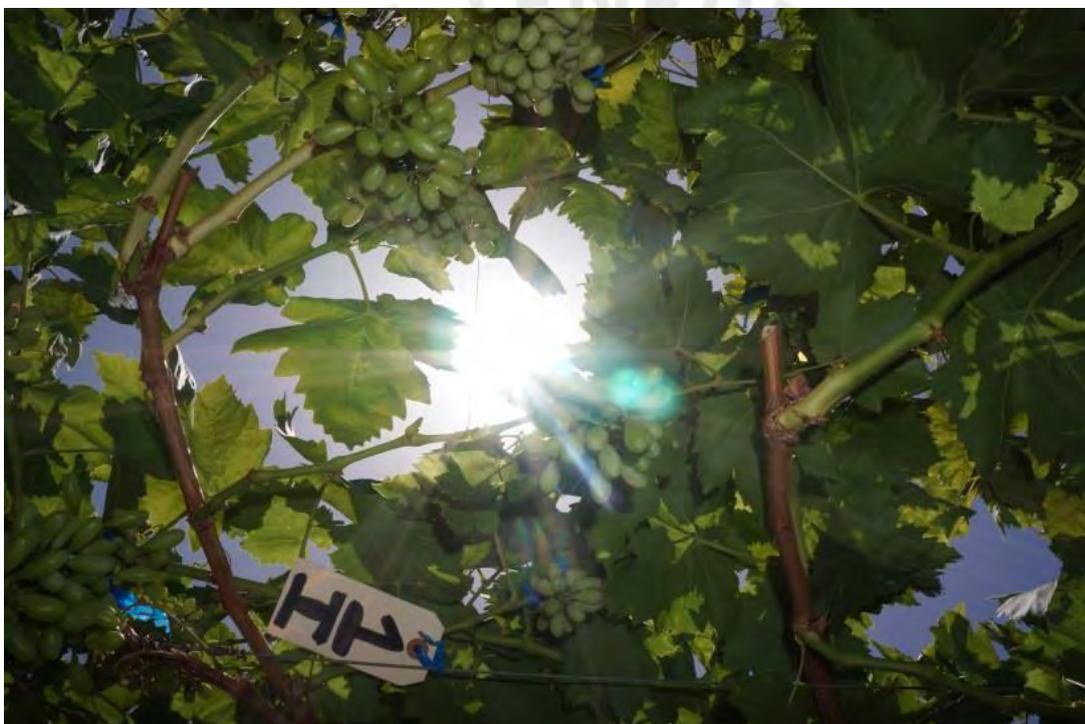


Figura 3.7 Uva de mesa Thompson Seedless con 4mm de diámetro en la planta #16 con ángulo de 60° respecto al suelo aproximadamente.

En la figura 3.7 podemos apreciar los racimos de bayas interpolados en exceso unos con otros, esto complicaría el conteo de bayas al momento de procesar la imagen. En la figura 3.8 notamos que los racimos de bayas fueron captadas a una distancia y posición incorrecta a lo planificado.



Figura 3.8



Figura 3.9

En la figura 3.9 podemos observar el efecto de las sombras causadas por las hojas, este efecto no permite identificar las hojas de las bayas a simple vista.



Figura 3.10 Uva de mesa Thompson Seedless con 4mm de diámetro en la planta #16 con ángulo de 60° respecto al suelo aproximadamente.

3.2.1.1 Factores controlables y no controlables

Se identificaron factores que se pueden controlar para reducir el margen de error en el conteo de las uvas y obtener un mejor desempeño de los algoritmos diseñados, así como también se identificaron factores no controlables.

Tabla 3.4 Factores controlables y no controlables en las imágenes capturadas.

FACTORES	ESTADO	DESCRIPCIÓN
Estado del tiempo	Factor no controlable	Las uvas empiezan a brotar en los meses de octubre y noviembre para su posterior cosecha en diciembre. En estos meses, en Nazca, es temporada solar, lo cual se ha podido evitar la presencia de lluvias o neblina que puedan afectar la calidad de las imágenes.
Distancia de la cámara	Factor controlable	La distancia de la cámara se ha definido de acuerdo a varias pruebas en campo.
Ángulo de la cámara	Factor controlable	El ángulo de la cámara se ha definido de acuerdo a varias pruebas en campo.
Iluminación artificial	Factor controlable	Se ha utilizado el flash de la cámara SONY NEX-7 para facilitar la ubicación de las uvas.
Iluminación ambiente	Factor no controlable	Se aprecia en algunas imágenes presencia de sombras o exceso de iluminación debido a los reflejos del sol.

3.2.2 Conteo manual de las uvas Thompson Seedless

Se realizó el conteo manual de las bayas de uva de mesa Thompson Seedless en la zona establecida. En la tabla 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran la cantidad total real de bayas contadas manualmente y la cantidad de bayas que se muestran frontalmente en las imágenes captadas por efecto del flash, hemos descartado los racimos presentes en las imágenes que no poseen una correcta iluminación por efecto del flash. Notar que las imágenes captadas en la misma posición, pero con diferente diámetro de baya contienen diferente cantidad de racimos debido a que la posición de la cámara se ubicó de manera manual. El fin de clasificar las bayas de esta forma permitirá observar la eficiencia de nuestro algoritmo y así poder comparar los resultados que se obtendrá al procesar las imágenes bajo ciertas condiciones y poder emitir conclusiones.

Clasificación de la uva de mesa Thompson Seedless, distribuidos por número de planta en el lote 389 A zona norte.

Tabla 3.5 Clasificación de las bayas de 4mm de diámetro máximo – turno mediodía

Número de planta y ubicación	Número de racimos	Número de bayas por racimo totales
Planta 16 - parte inferior	7	524
Planta 16 - parte superior	14	1308
Planta 17 – zona inferior	31	2881
Planta 17 – zona superior	28	2578
Planta 18 – zona inferior	31	2975
Planta 18 – zona superior	19	1659

Total de uvas	11925
----------------------	--------------

3.3 Metodología empleada en los algoritmos

Para realizar las pruebas de los algoritmos desarrollados, vamos a clasificar tres grupos de imágenes, el primer grupo con las bayas de 4mm de diámetro máximo captadas aproximadamente al mediodía, el segundo grupo con las bayas de 14mm de diámetro máximo captadas aproximadamente a las 3:45pm y el tercer grupo con las bayas de 14mm de diámetro máximo captadas aproximadamente a las 8:00pm, para luego dividirlos en subgrupos como se muestra en la tabla 3.5.

En total se tomarán 6 subgrupos por cada grupo. Para utilizar el primer algoritmo se trabajará con las bayas de 4mm y 14mm de diámetro máximo durante el día, en el caso del segundo algoritmo emplearemos las bayas de 14mm durante la noche. Luego se describirá el motivo por el cual se decidió clasificar la base de datos de esta manera.

3.4 Procesamiento y Detección de características de las imágenes

Con estos métodos vamos a segmentar la imagen y trabajar con los puntos clave formados en las bayas, esto refiere a los puntos de iluminación que se generan al centro de cada baya por efecto del flash de la cámara SONY NEX-7 y la cámara trasera del Smartphone Android Samsung Galaxy S4. Trabajaremos la imagen en principio con escala de grises para luego utilizar un valor umbral promedio y binarizar la imagen.

Para procesar las imágenes se siguen ciertos parámetros que se describirán a continuación de acuerdo al método a describir.

3.4.1 Método identificando el punto clave en bayas de 4mm y 14mm de diámetro máximo durante el día.

En el siguiente diagrama de bloques describiremos los pasos a seguir para identificar los puntos claves en las uvas de 4mm y 14 mm de diámetro máximo durante el día trabajando con las áreas de alta intensidad formadas en el centro de las bayas por efecto del flash de las cámaras.

Como se definió anteriormente, este efecto del flash de la cámara sobre las bayas se denominará punto clave. Tomaremos como referencia del funcionamiento del algoritmo las bayas de 4mm de diámetro máximo ubicadas en la planta 18 – zona superior.

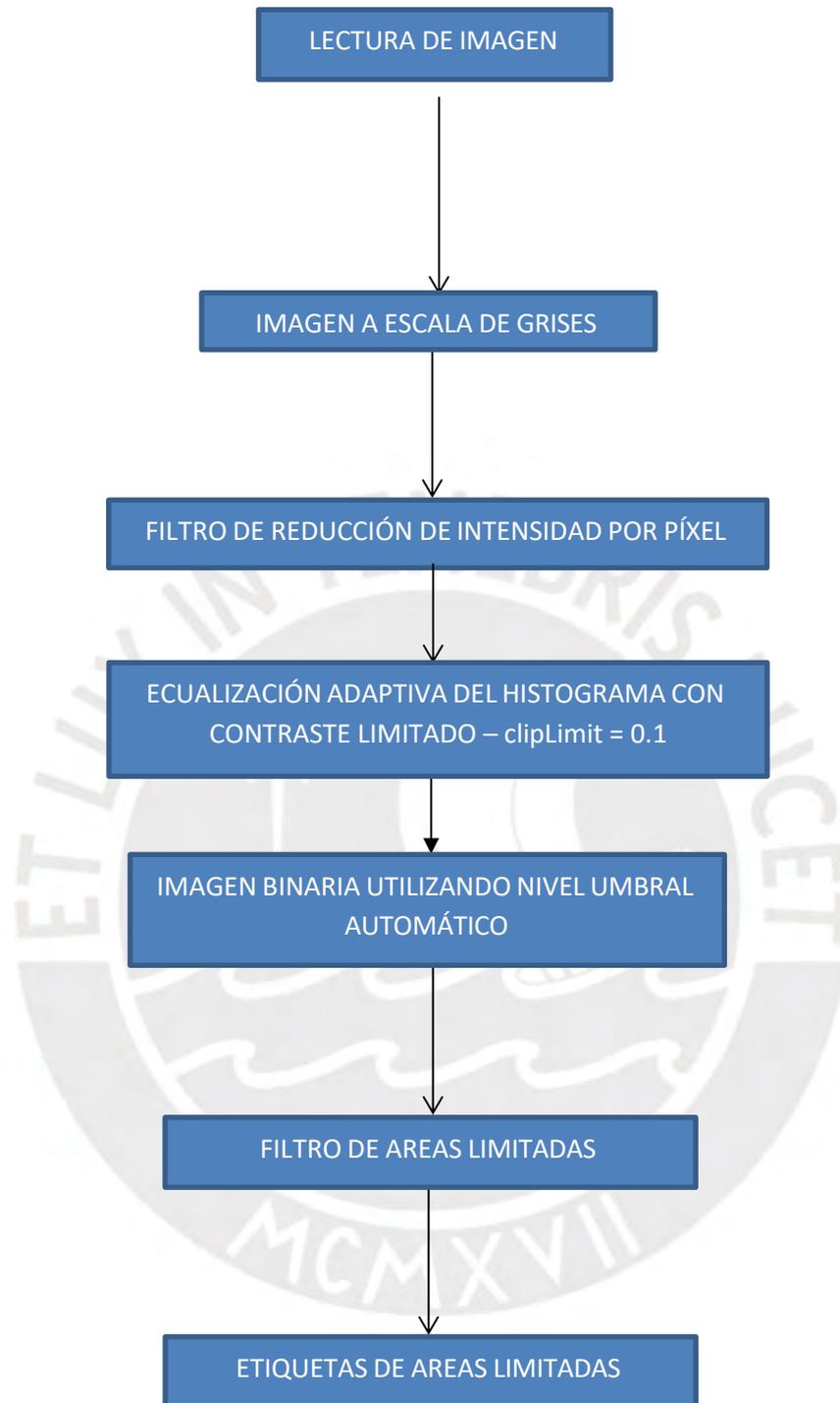


Figura 3.11 Diagrama de bloques del método identificando el punto clave en bayas de 4mm y 14mm de diámetro máximo durante el día.

Lectura de imagen

En principio efectuamos la lectura de la imagen a analizar para luego continuar con los procesos mencionados. Tomaremos la imagen de la figura 3.10 como muestra del proceso.

Nombre del archivo “1-Planta 18 – parte superior.jpg”



Figura3.12 Figura original de bayas con diámetro máximo de 4mm de nuestra base de datos (planta18 – zona superior).

Imagen a escala de grises

Luego de realizar la lectura de imagen, debemos tener en cuenta que la imagen recibida se encuentra en formato RGB (tres canales), por lo que será necesario trabajar la imagen en escala de grises y así obtener valores de intensidad de cada píxel en el rango de 0 a 255 de un solo canal. Utilizaremos la instrucción `rgb2gray ()` para convertir la imagen en escala de grises.



Figura 3.13 Imagen a escala de grises

Filtro de reducción de intensidad por píxel

Con la ayuda de la herramienta IMTOOL de Matlab podemos identificar el nivel de intensidad por cada píxel de la imagen. Se ha identificado que las uvas poseen un nivel de intensidad entre 100 y 180, este rango se definió utilizando las 6 imágenes de uvas de 4mm, los niveles de intensidad fuera de este rango lo convertiremos a nivel de intensidad 0 para solo mantener el rango de intensidad definido.

Se definirá las siguientes expresiones para realizar el filtro:

$$\text{masc1} = \text{uvasgris} < 180 \ \& \ \text{uvasgris} > 100 \quad (1)$$

$$\text{imggrishigh2} = \text{masc1} * \text{uvasgris} \quad (2)$$

Dónde:

masc1: Obtenemos la imagen con valores de 1 en intensidad de 100 a 180, el resto se convierte a 0 de nivel de intensidad.

imggrishigh2: Con la máscara generada anteriormente, generamos la imagen con niveles de intensidad de 100 a 180.



Figura 3.14 Imagen con niveles de intensidad entre 100 y 180.

Ecuación adaptiva del histograma con contraste limitado – clipLimit = 0.1

En este paso vamos a expandir los valores de intensidad más frecuentes en la imagen para poder aumentar el contraste de la imagen. Este paso será útil para potenciar los detalles de la imagen. Se puede utilizar valores de mejora de contraste en el rango de 0 a 1, utilizaremos el valor de clipLimit = 0.1. Para este caso utilizaremos la instrucción `adapthisteq ()`.



Figura 3.15 Imagen con ecualización adaptiva.

Imagen binaria utilizando nivel umbral automático

Convertimos la imagen con ecualización adaptiva en una imagen binaria. Para obtener esta imagen primero calculamos de manera automática el umbral que se utilizará mediante el método de Otsu que está implementado en el comando `graythresh ()` de Matlab. El valor de este umbral tiene un valor de 0.3529 para esta imagen.

$$\text{Límite Intensidad Píxel} = \frac{\text{Valor umbral} \times \text{Valor máximo de intensidad de un píxel}}{\text{Valor umbral máximo}}$$

(3)

$$\text{Límite Intensidad Píxel} = 90$$

De la imagen, los valores de intensidad mayores a 90 tomarán el valor de 1 (color blanco) y los valores menores a este tomarán el valor de 0 (color negro).



Figura 3.16 Imagen en binario.

Filtro de áreas limitadas

Vamos a aproximar el límite de áreas que abarcan las bayas, debido al flash de la cámara se pudo obtener niveles de intensidad alto al centro de cada baya, a esta característica podemos definir como punto clave, después de binarizar la imagen con la instrucción `im2bw ()` se ha obtenido finalmente áreas del punto clave en el límite de 70 a 9000 píxeles, parámetro promedio que se realizó analizando las 6 imágenes de uva de 4mm y 14mm de diámetro máximo. Las instrucciones que se utilizarán serán:

- `bwlabel ()`: con esta instrucción generamos áreas formadas por 1 binario en la imagen dándole un valor de referencia.
- `centroide = regionprops ()`: para obtener el centroide de cada punto clave.
- `areapuntoclave = regionprops ()`: para obtener el área de cada punto clave.
- `centroids = cat ()`: instrucción que almacena las coordenadas del centroide de las áreas detectadas.
- `areas = cat ()`: instrucción que almacena el valor de las áreas en una matriz.

Para realizar el filtro de áreas limitadas utilizamos la siguiente expresión:

$$\text{Si } \text{areas}(i) > 70 \text{ y } \text{areas}(i) < 9000, \quad (4)$$

Es válido como baya.

Dónde i representa el índice de cada área identificada en mi vector areas.

Definir un marcador en los puntos identificados

Finalmente definiremos un marcador a los puntos clave identificados en la última etapa para poder ubicarlos en la imagen a escala real y así poder observar la eficiencia de nuestro algoritmo.

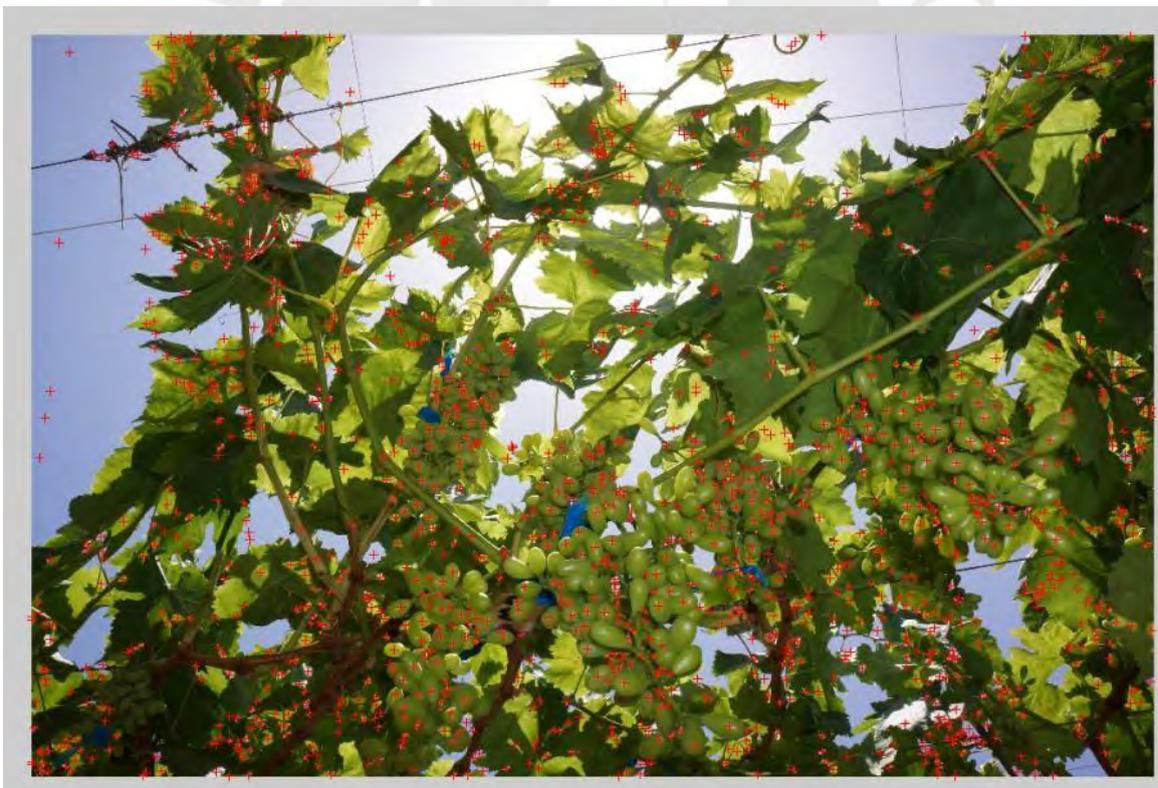


Figura 3.17 Imagen con áreas definidas etiquetadas.

3.4.2 Método identificando el punto clave mediante el análisis de píxeles en bayas de 14mm de diámetro máximo durante la noche.

En el siguiente diagrama de bloques describiremos los pasos a seguir para identificar los puntos claves en las uvas de 14mm de diámetro máximo durante la noche. Realizaremos algunas variaciones en la segmentación de la imagen a diferencia del algoritmo anterior debido a que la intensidad presente en las bayas de 14mm es de mayor nivel y se optó por utilizar otros parámetros para mejorar el contraste e identificar el comportamiento del punto clave de las bayas.

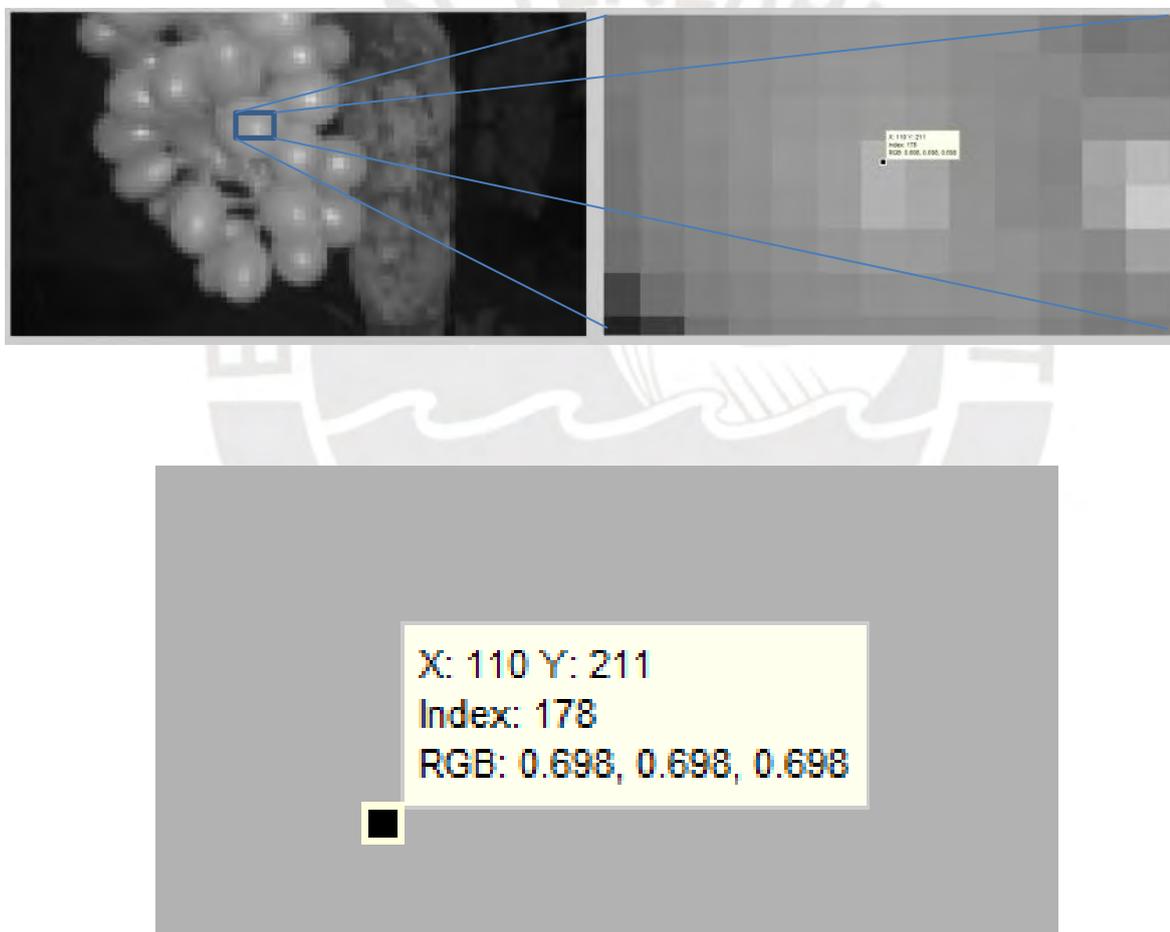


Figura 3.18 En la figura podemos notar, mediante el acercamiento realizado a una baya, como disminuye la intensidad alrededor del punto de referencia. En este caso se observa la posición de la fila 211 y la columna 110 de la imagen Iescaladiag (x, y). Notar que esta coordenada se encuentra almacenada en los vectores `filsinborde(d)` y `colsinborde(d)`.

A continuación, vamos a mostrar el comportamiento que presenta la intensidad de cada píxel alrededor de este punto de referencia en un radio de 5 píxeles y comprobaremos que cumple con las condiciones establecidas.

	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
199	149	145	143	144	146	153	155	154	150	140	131	128	132
200	146	142	139	142	152	162	170	166	155	144	129	127	133
201	131	127	130	139	152	165	193	187	155	144	133	127	139
202	106	111	125	138	149	160	179	175	150	138	127	128	152
203	127	108	123	133	141	152	159	155	142	133	123	129	154
204	140	117	114	129	135	142	146	143	133	125	123	134	146
205	129	123	108	122	132	136	138	136	130	121	121	130	136
206	139	128	120	123	127	131	132	136	134	118	115	123	128
207	122	119	128	134	135	138	137	139	142	135	116	116	122
208	121	124	133	139	145	147	149	146	142	142	131	117	122
209	122	129	137	143	147	150	151	147	141	139	138	129	129
210	118	130	139	144	150	154	158	153	144	140	135	142	143
211	116	131	137	144	152	158	178	166	146	138	132	164	183
212	115	129	135	142	149	157	177	168	147	138	135	159	201
213	111	125	132	138	143	149	156	154	148	145	141	137	160
214	69	112	127	132	138	139	144	145	143	144	134	127	136
215	36	62	116	128	133	135	136	137	136	139	129	121	125
216	43	39	100	123	128	130	133	135	133	134	138	119	120
217	85	49	108	122	126	131	136	140	138	134	139	118	99
218	123	72	111	123	129	136	146	150	146	137	137	117	51
219	139	101	109	119	125	139	159	173	157	141	133	122	45
220	143	114	103	119	122	136	157	179	162	140	128	114	45
221	144	113	85	121	120	127	141	151	144	134	123	95	36
222	140	111	51	99	123	125	128	133	128	125	110	63	27

Figura 3.19 En la imagen se muestra los 8 sectores que se analizaron alrededor del punto clave de una baya.

Sector 1 (ángulo 0°) = Solo difiere un píxel cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad mayor a 50. Sector correcto.

Sector 2 (ángulo 45°) = Difieren dos píxeles cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad mayor a 50. Sector incorrecto.

Sector 3 (ángulo 90°) = No difiere ningún píxel cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad mayor a 50. Sector correcto.

Sector 4 (ángulo 135°) = No difiere ningún píxel cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad mayor a 50. Sector correcto.

Sector 5 (ángulo 180°) = No difiere ningún píxel cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad mayor a 50. Sector correcto.

Sector 6 (ángulo 235°) = No difiere ningún píxel cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad menor a 50. Sector incorrecto.

Sector 7 (ángulo 270°) = No difiere ningún píxel cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad mayor a 50. Sector correcto.

Sector 8 (ángulo 315°) = No difiere ningún píxel cuando disminuye la intensidad y el píxel en la quinta posición tiene un nivel de intensidad mayor a 50. Sector correcto.

Notamos que 6 sectores son correctos, por lo tanto, será un punto máximo a evaluar en la siguiente etapa del algoritmo. Algunos puntos que no son parte de las bayas contienen estas mismas características.

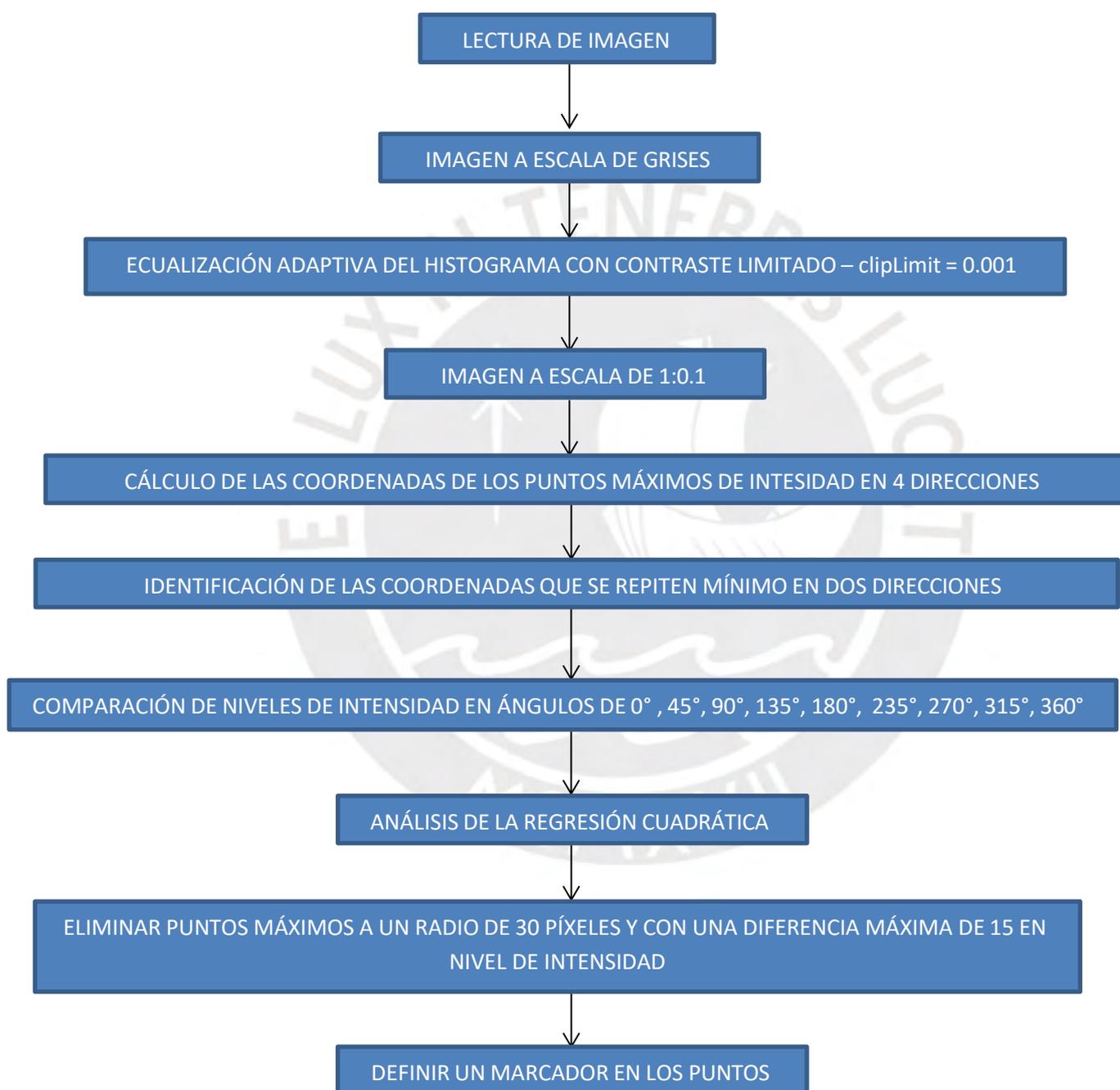


Figura 3.20 Diagrama de bloques del Método identificando el punto clave mediante el análisis de píxeles en bayas de 14mm de diámetro máximo durante la noche.

Lectura de imagen

Iniciamos con la lectura de la imagen a analizar.

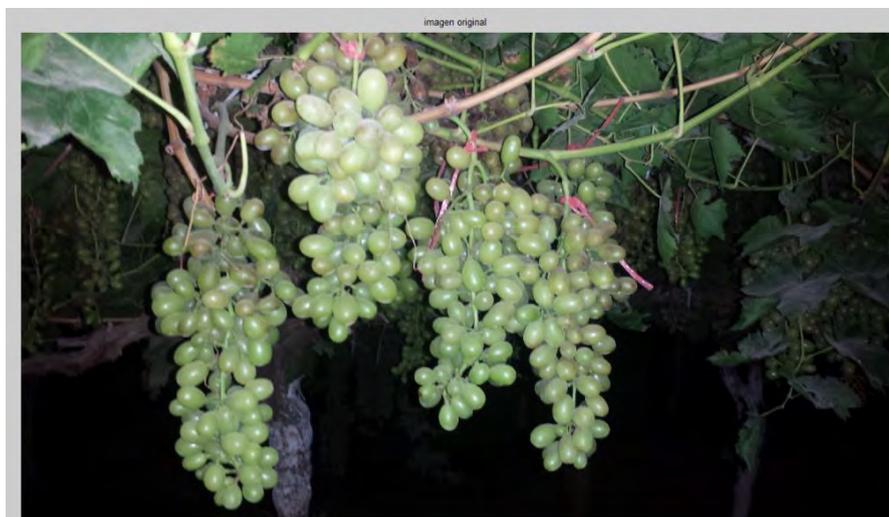


Figura 3.11 Figura original de bayas con diámetro máximo de 14mm de nuestra base de datos turno noche (planta16 – zona inferior).

Imagen a escala de grises

Se convierte la imagen leída a escala de grises para obtener una imagen con valores de intensidad de píxeles entre 0 y 255. Utilizaremos la instrucción `rgb2gray ()` para convertir la imagen en escala de grises.



Figura 2.22 Figura original de bayas con diámetro máximo de 14mm de nuestra base de datos turno noche (planta16 – zona inferior).

Ecualización adaptiva del histograma con contraste limitado.

Después de convertir la imagen a escala de grises, para el caso de las bayas de 14mm diámetro máximo durante la noche, es preferible realizar la ecualización adaptiva con la mejora del contraste con un valor de $\text{clipLimit} = 0.001$ debido a que las plantas poseen bayas con mayor volumen y hojas, esto permite trabajar con diferente valor de intensidad. Para obtener delimitado los píxeles de los puntos clave de las bayas, se realiza la ecualización en esta etapa de la segmentación de la imagen. Para este caso utilizaremos la instrucción `adapthisteq()`.



Figura 3.23 Imagen con ecualización adaptiva.

Imagen a escala de 1:0.1

La imagen se reduce a su décima parte porque al reducir la cantidad de filas y columnas, nuestro algoritmo procesará más rápido las imágenes en esta etapa por poseer menor cantidad de píxeles.

Si bien es cierto, se pierde la calidad de la imagen, es bueno destacar que el hecho de reducir el tamaño de la imagen no afectará los puntos claves de las bayas, es decir, los niveles de intensidad presentes en el centro de cada baya presentarán el mismo comportamiento que el de la imagen a escala real.



Figura3.24 Imagen reducida a su décima parte.

Cálculo de la detección de máximos locales en la imagen.

En esta parte del algoritmo buscamos las intensidades mayores teniendo presente que cada baya refleja el flash, lo que lo resalta y se puede identificar cada baya. Para esto se calcula las coordenadas de los puntos máximos de intensidad haciendo un barrido horizontal, vertical y ambas diagonales (dirección de 45° y 135°).

BARRIDO HORIZONTAL

Para realizar el barrido horizontal utilizaremos la siguiente expresión:

$$\text{Si } I_{\text{escala}}(x,y) \leq I_{\text{escala}}(x,y+1), \quad (5)$$

$$I_{\text{escala}}(x,y+2) \leq I_{\text{escala}}(x,y+1) \quad (6)$$

$$\text{Entonces: } \text{fil1}(i) = x, \text{ col1}(i) = y + 1 \quad (7)$$

En donde:

$I_{\text{escala}}(x, y)$: imagen a escala de 1:0.1 en la posición x, y .

$\text{fil1}(i)$: posición de la fila que cumple la condición en barrido horizontal.

$\text{col1}(i)$: posición de la columna que cumple la condición en barrido horizontal.

i : índice de los vectores $fil1$ y $col1$ que me permitirá almacenar las coordenadas en estos dos vectores.

Con esta técnica vamos a generar las coordenadas de los puntos de máxima intensidad en barrido horizontal.

BARRIDO VERTICAL

Para realizar el barrido vertical utilizaremos la siguiente expresión:

$$\text{Si } I_{escala}(x,y) \leq I_{escala}(x+1,y), \quad (8)$$

$$I_{escala}(x+2,y) \leq I_{escala}(x+1,y) \quad (9)$$

$$\text{Entonces: } fil2(i) = x + 1, col2(i) = y \quad (10)$$

En donde:

$I_{escala}(x,y)$: imagen a escala de 1:0.1 en la posición x, y .

$fil1(i)$: posición de la fila que cumple la condición en barrido vertical.

$col1(i)$: posición de la columna que cumple la condición en barrido vertical.

i : índice de los vectores $fil2$ y $col2$ que me permitirá almacenar las coordenadas en estos dos vectores.

Con esta técnica vamos a generar las coordenadas de los puntos de máxima intensidad en barrido vertical.

BARRIDO DIAGONAL (135°)

Para realizar el barrido diagonal (135°) utilizaremos la siguiente expresión:

$$\text{Si } I_{escaladiag}(x,y) \leq I_{escaladiag}(x+1,y+1), \quad (11)$$

$$I_{escaladiag}(x+2,y+2) \leq I_{escaladiag}(x+1,y+1) \quad (12)$$

$$\text{Entonces: } fil3(i) = x + 1, col3(i) = y + 1 \quad (13)$$

En donde:

Iescaladiag (x, y): imagen a escala de 1:0.1 añadiendo filas de ceros para obtener la imagen con la misma cantidad de filas y columnas para facilitar el análisis en diagonal.

fil3 (i): posición de la fila que cumple la condición en barrido diagonal (135°).

col3 (i): posición de la columna que cumple la condición en barrido diagonal (135°).

i : índice de los vectores fil3 y col3 que me permitirá almacenar las coordenadas en estos dos vectores.

Con esta técnica vamos a generar las coordenadas de los puntos de máxima intensidad en barrido diagonal (135°).

BARRIDO EN DIAGONAL (45°)

Para realizar el barrido diagonal (45°) utilizaremos la siguiente expresión:

$$\text{Si } \text{Iescaladiag}(x, y) \leq \text{Iescaladiag}(x+1, y-1), \quad (13)$$

$$\text{Iescaladiag}(x+2, y-2) \leq \text{Iescaladiag}(x+1, y-1) \quad (14)$$

$$\text{Entonces: } \text{fil4}(i) = x + 1, \text{ col4}(i) = y - 1 \quad (15)$$

En donde:

Iescaladiag (x, y): imagen a escala de 1:0.1 añadiendo filas de ceros para obtener la imagen con la misma cantidad de filas y columnas para facilitar el análisis en diagonal.

fil4 (i): posición de la fila que cumple la condición en barrido diagonal (45°).

col4 (i): posición de la columna que cumple la condición en barrido diagonal (45°).

i: índice de los vectores fil4 y col4 que me permitirá almacenar las coordenadas en estos dos vectores.

Con esta técnica vamos a generar las coordenadas de los puntos de máxima intensidad en barrido diagonal (45°).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	78	72	69	74	80	85	91	94	96	99	103	108	112
2	79	75	73	76	80	84	90	98	103	102	105	112	113
3	79	74	77	79	86	95	102	111	115	111	109	113	112
4	79	77	82	90	99	108	113	118	121	115	110	109	107
5	80	85	92	98	105	112	115	115	111	108	109	109	102
6	88	96	99	100	107	111	111	109	106	104	105	108	98
7	96	101	104	104	104	103	105	109	108	105	104	108	104
8	99	101	104	104	101	101	105	112	111	107	106	107	104
9	101	102	104	102	100	103	108	114	117	112	109	105	99
10	99	103	104	97	100	105	110	115	119	116	111	105	99
11	100	103	103	97	100	105	110	115	120	116	109	105	106
12	100	103	101	98	100	107	112	116	121	115	106	103	106
13	99	99	99	99	105	113	115	115	117	109	101	104	105
14	99	99	100	101	111	118	116	114	112	104	96	102	103
15	98	98	101	104	111	117	118	114	109	99	94	103	104
16	97	100	104	108	113	116	116	115	112	103	98	100	99
17	99	101	105	109	115	116	110	106	109	115	107	100	97
18	111	108	108	109	115	110	93	87	93	105	104	101	102
19	114	114	115	114	113	102	84	77	78	83	93	101	104
20	112	115	117	117	118	112	107	94	78	73	84	102	109
21	120	120	118	116	114	114	114	114	105	91	92	102	110
22	117	119	120	123	119	115	114	116	120	117	109	106	114
23	102	104	108	116	123	126	127	124	121	124	125	122	127
24	84	83	85	88	98	114	125	129	128	127	129	130	134
25	76	73	75	75	76	81	92	101	108	115	122	126	126
26	70	71	76	79	77	75	77	80	81	86	91	100	107

Figura 3.25 En la imagen podemos apreciar algunas coordenadas de la imagen Iescala (x, y) que coinciden con las coordenadas de la imagen Iescaladiag (x, y).

-  Este punto es un ejemplo de máxima intensidad en el eje horizontal.
-  Este punto es un ejemplo de máxima intensidad en el eje vertical.
-  Este punto es un ejemplo de máxima intensidad en el eje diagonal (135°).
-  Este punto es un ejemplo de máxima intensidad en el eje diagonal (45°).

Identificación de las coordenadas que se repiten mínimo en dos direcciones.

Definiremos dos vectores $\text{filmax}(k)$ y $\text{colmax}(k)$ donde almacenaremos las coordenadas que se repiten mínimo en dos direcciones debido al comportamiento que posee el punto clave de las bayas, mientras se aproxime al punto clave, la intensidad aumenta, por lo tanto, debe ubicarse como mínimo en dos direcciones un píxel de mayor intensidad. Además, como los puntos clave de las bayas tienen un nivel de intensidad de 150 como mínimo en su mayoría,

descartaremos aquellos puntos máximos menores a 150. De esta manera eliminaremos algunos puntos máximos que no se comportan a los puntos claves de las bayas y almacenaremos en dos nuevos vectores $fil(a)$ y $col(a)$ los puntos que cumplen esta condición.

Comparación de niveles de intensidad en ángulos de 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 235°, 270°, 315°.

Vamos a analizar los niveles de intensidad en un radio de 5 píxeles alrededor de las coordenadas que presentan mis vectores $fil(a)$ y $col(a)$ en los ángulos determinados. De los 8 sectores a analizar debemos cumplir con la condición de no poseer, en un radio de 5 píxeles, un nivel de intensidad menor a 50, porque las bayas presentan una caída de intensidad mayor a este valor. Además, se debe cumplir que mediante vamos alejándonos del punto de referencia, a un radio de 5 píxeles, la intensidad debe disminuir teniendo la opción de diferir en un píxel. Si 3 de los 8 sectores como mínimo, cumplen con esta condición, se aceptará como coordenada válida y se almacenarán en un nuevo vector $fil\sinborde(d)$ y $col\sinborde(d)$ para un posterior análisis.

Análisis de la regresión cuadrática

Se realiza el análisis de la regresión cuadrática debido a que este método describe mejor el comportamiento de los puntos de intensidad alrededor del centro de la baya.

Para realizar esta parte del algoritmo, necesitamos trabajar con las coordenadas del vector $fil\sinborde(a)$ y $col\sinborde(a)$ en escala real, para eso multiplicaremos por 10 ambos vectores, ya que utilizaremos la matriz $I_{escalareal}(x, y)$ que representa la imagen en escala real después de ser convertida en escala de grises y efectuarse una ecuación adaptiva. Se observará el comportamiento de los 8 sectores alrededor de las coordenadas de referencia y a través de un ajuste cuadrático observaremos las diferencias que se muestra entre bayas, hojas y ramas en un radio de 5 píxeles por sector. Utilizaremos las siguientes ecuaciones para calcular las variables a_0, a_1, a_2 :

$$\sum y = a_2 \sum x^2 + a_1 \sum x + na_0 \quad (16)$$

$$\sum xy = a_2 \sum x^3 + a_1 \sum x^2 + n \sum x \tag{17}$$

$$\sum x^2y = a_2 \sum x^4 + a_1 \sum x^3 + n \sum x^2 \tag{18}$$

Para obtener la siguiente ecuación cuadrática de la forma:

$$\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0 \tag{19}$$

Dónde:

n = cantidad de píxeles por sector (para el algoritmo se utilizara n = 5)

x = posición de la columna

y = posición de la fila

Con esta ecuación cuadrática podemos realizar un ajuste cuadrático en cada sector partiendo de nuestro punto de referencia y así poder observar el comportamiento de cada curva ya sea una baya, una hoja o una rama.

ANÁLISIS DE UNA BAYA A ESCALA REAL

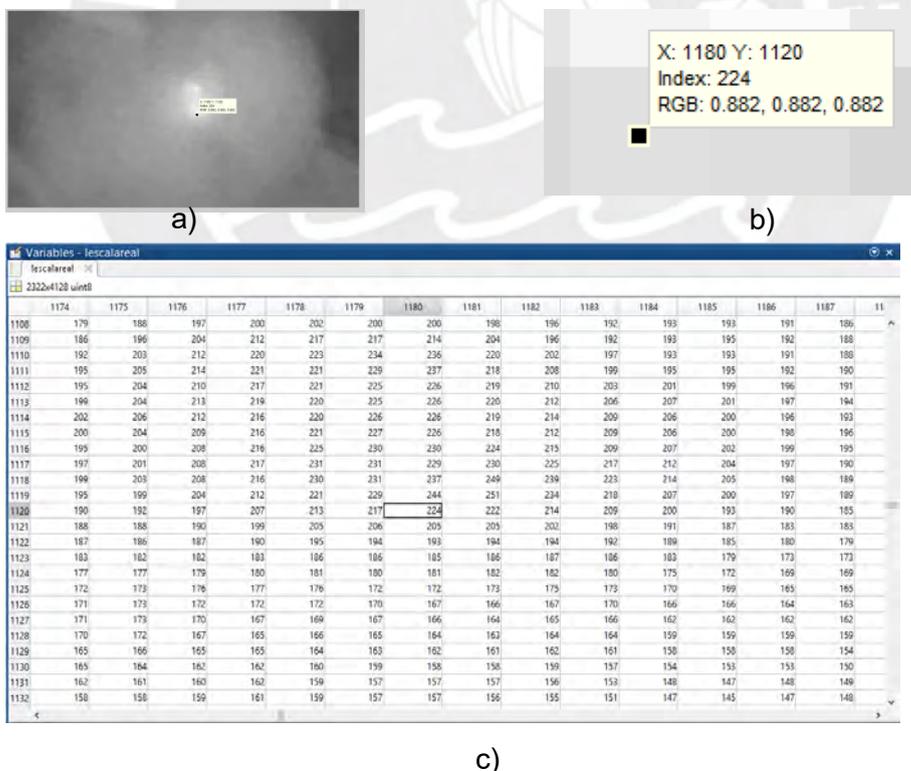


Figura3.26 a) Baya a escala real, b) coordenada del punto clave detectado a escala real, c) tabla que muestra los puntos alrededor del punto clave en un radio de 5 píxeles.

En las siguientes gráficas vamos a mostrar el ajuste cuadrático en los 8 sectores alrededor de este punto clave en un radio de 5 píxeles. Analizaremos su comportamiento y el rol que desempeña el coeficiente a_2 .

Para ángulo de 0°

x	y
1	222
2	214
3	209
4	200
5	193

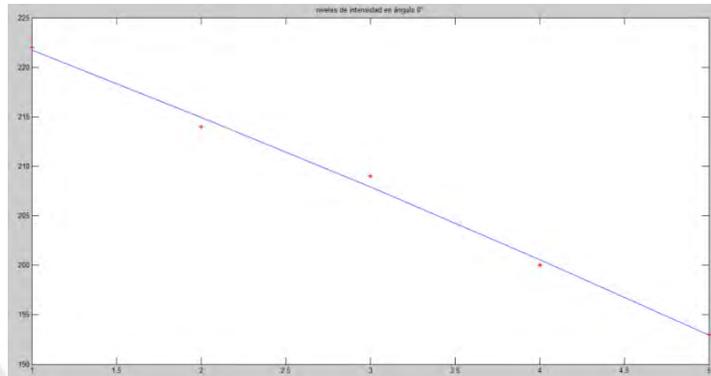


Tabla 3.6 Niveles de intensidad. Figura 3.27 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -0.1429$, $a_1 = -6.3429$, $a_0 = 228.2000$

Para ángulo de 45°

x	y
1	251
2	239
3	217
4	207
5	200

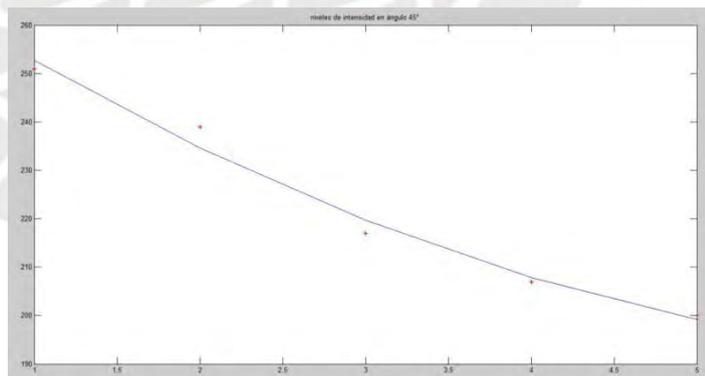


Tabla 3.7 Niveles de intensidad. Figura 3.28 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = 1.5714$, $a_1 = -22.8286$, $a_0 = 274$

Para ángulo de 90°

x	y
1	244
2	237
3	229
4	230
5	226

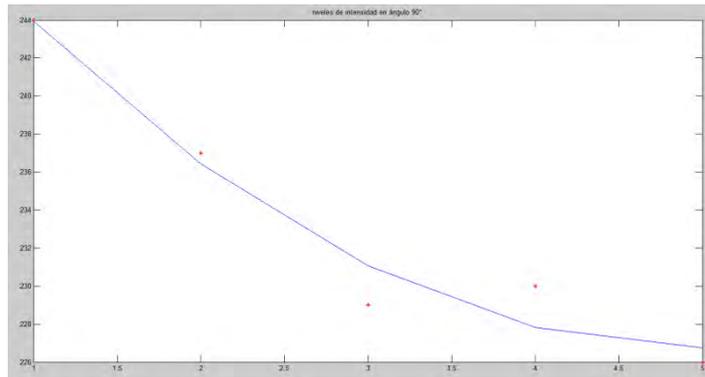


Tabla3.8 Niveles de intensidad.

Figura 3.29 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = 1.0714$, $a_1 = -10.7286$, $a_0 = 253.6$

Para ángulo de 135°

x	y
1	229
2	230
3	217
4	208
5	204

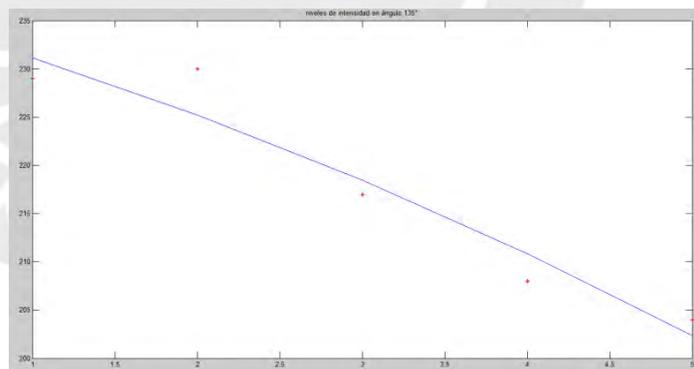


Tabla3.9 Niveles de intensidad.

Figura 3.30 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -0.4286$, $a_1 = -4.6286$, $a_0 = 236.2$

Para ángulo de 180°

x	y
1	217
2	213
3	207
4	197
5	192

Tabla 3.10 Niveles de intensidad.

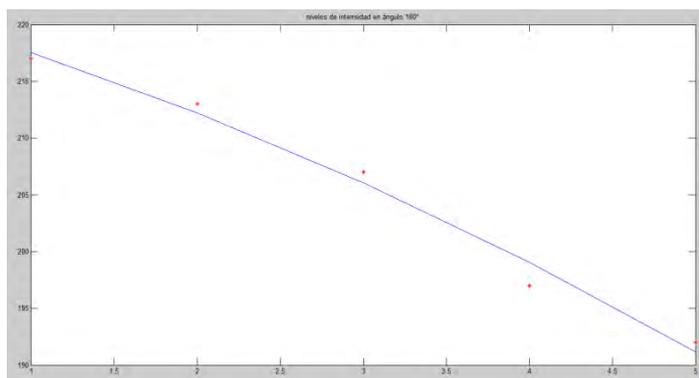


Figura 3.310 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -0.4286$, $a_1 = -4.0286$, $a_0 = 222$

Para ángulo de 225°

x	y
1	206
2	195
3	183
4	179
5	173

Tabla 3.11 Niveles de intensidad.

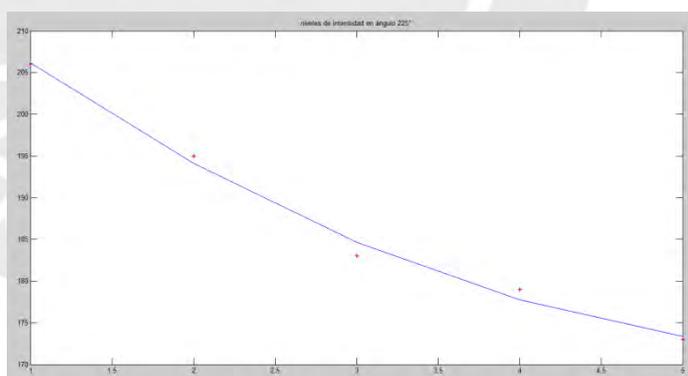


Figura 11.32 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = 1.2857$, $a_1 = -15.9143$, $a_0 = 220.8$

Para ángulo de 270°

x	y
1	205
2	193
3	185
4	181
5	172

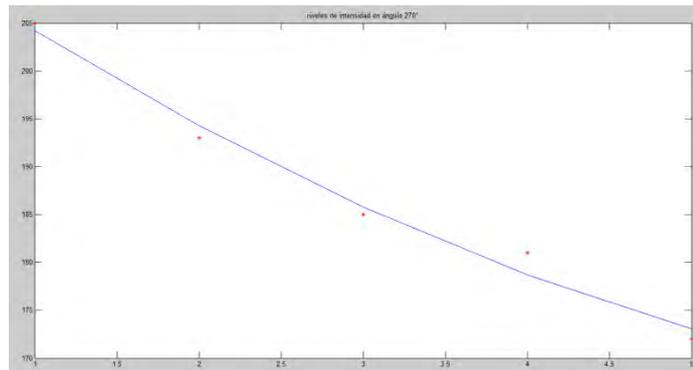


Tabla 3.12 Niveles de intensidad. Figura 3.33 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = 0.7143$, $a_1 = -12.0857$, $a_0 = 215.6$

Para ángulo de 315°

x	y
1	205
2	194
3	186
4	175
5	169

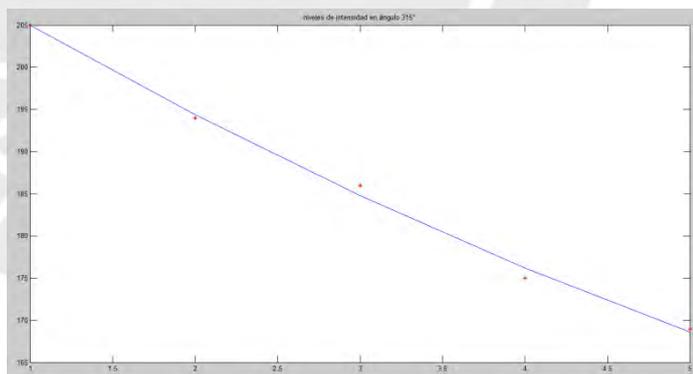


Tabla 3.13 Niveles de intensidad. Figura 3.34 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = 0.5$, $a_1 = -12.1$, $a_0 = 216.6$

El coeficiente a_2 me indica el comportamiento de la curva, si este coeficiente es mayor a cero en 3 sectores como mínimo, se considera a esta coordenada para el posterior análisis de este algoritmo, como podemos ver en esta baya, encontramos 5 sectores con el coeficiente a_2 mayor a cero.

ANÁLISIS DE UNA RAMA A ESCALA REAL



Figura 3.35 a) Rama a escala real, b) coordenada del punto clave detectado a escala real, c) tabla que muestra los puntos alrededor del punto clave en un radio de 5 píxeles.

En las siguientes gráficas vamos a mostrar el ajuste cuadrático en los 8 sectores alrededor de este punto clave en un radio de 5 píxeles. Analizaremos su comportamiento y el rol que desempeña el coeficiente a_2 .

Para ángulo de 0°

x	y
1	187
2	187
3	187
4	187
5	187

Tabla 3.14 Niveles de intensidad.

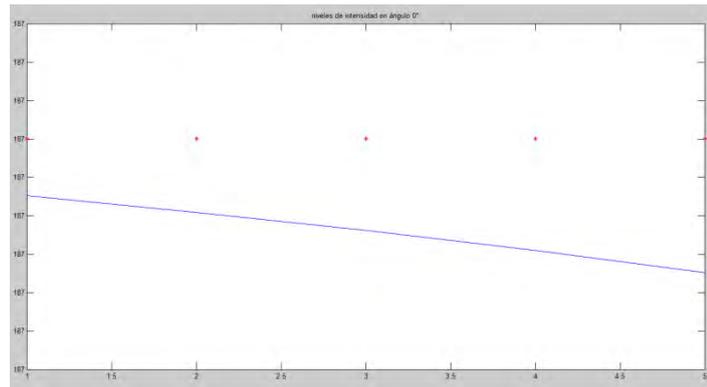


Figura 3.15 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -1.1368e-13$, $a_1 = -1.8189e-12$, $a_0 = 187$

Para ángulo de 45°

x	y
1	187
2	186
3	187
4	181
5	176

Tabla 3.9 Niveles de intensidad.

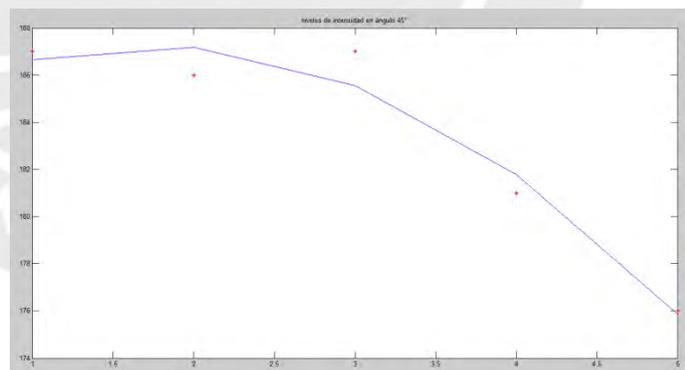


Figura 3.37 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -1.0714$, $a_1 = 3.7286$, $a_0 = 184$

Para ángulo de 90°

x	y
1	189
2	187
3	187
4	189
5	187

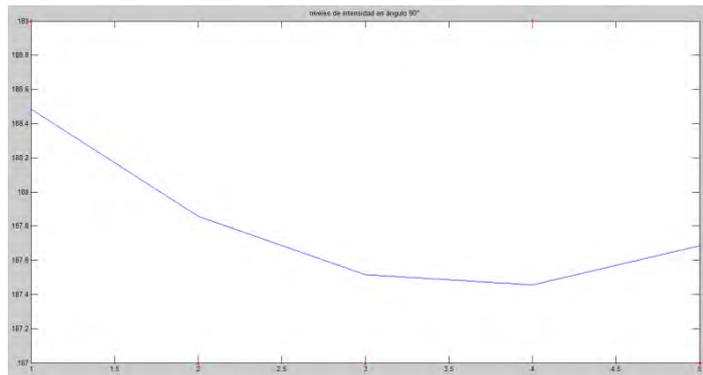


Tabla 3.10 Niveles de intensidad. Figura 3.38 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = 0.1429$, $a_1 = -1.0571$, $a_0 = 189.4$

Para ángulo de 135°

x	y
1	190
2	190
3	193
4	193
5	190

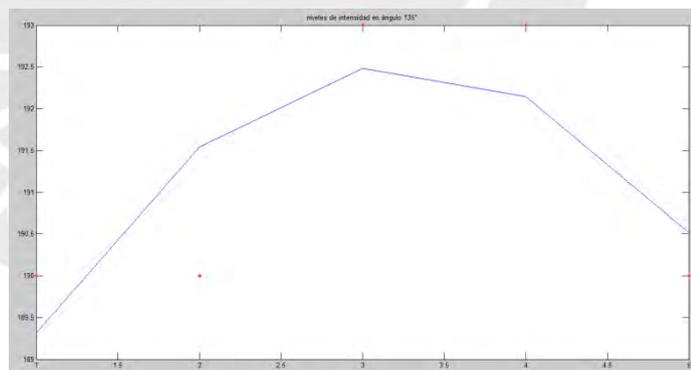


Tabla 3.11 Niveles de intensidad. Figura 3.39 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -0.6429$, $a_1 = 4.1571$, $a_0 = 185.8$

Para ángulo de 180°

x	y
1	187
2	187
3	186
4	183
5	182

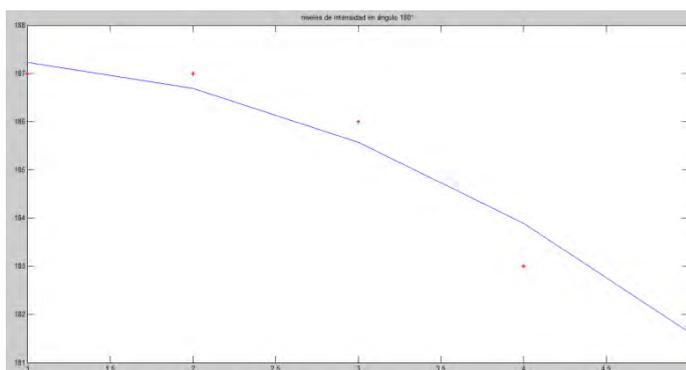


Tabla 3.12 Niveles de intensidad.

Figura 3.40 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = -0.2857$, $a_1 = 0.3143$, $a_0 = 187.2$

Para ángulo de 225°

x	y
1	185
2	181
3	177
4	168
5	157

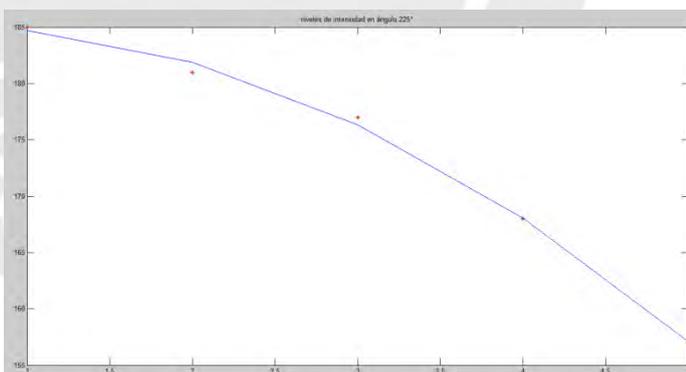


Tabla 3.13 Niveles de intensidad.

Figura 3.41 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = -1.3571$, $a_1 = 1.2429$, $a_0 = 184.8$

Para ángulo de 270°

x	y
1	186
2	186
3	183
4	178
5	169

Tabla 3.20 Niveles de intensidad.

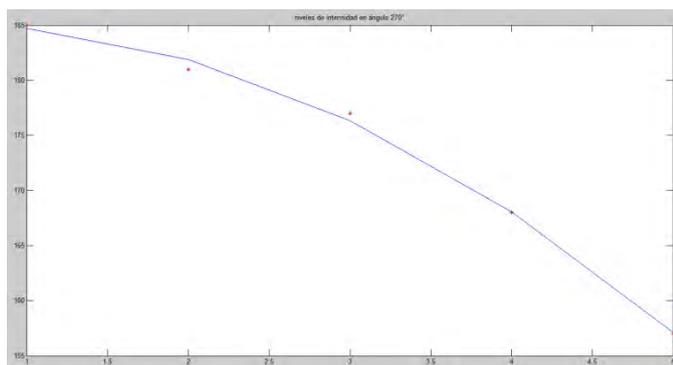


Figura 3.420 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -1.3571$, $a_1 = 1.2429$, $a_0 = 184.8$

Para ángulo de 315°

x	y
1	186
2	185
3	183
4	179
5	186

Tabla 3.214 Niveles de intensidad.

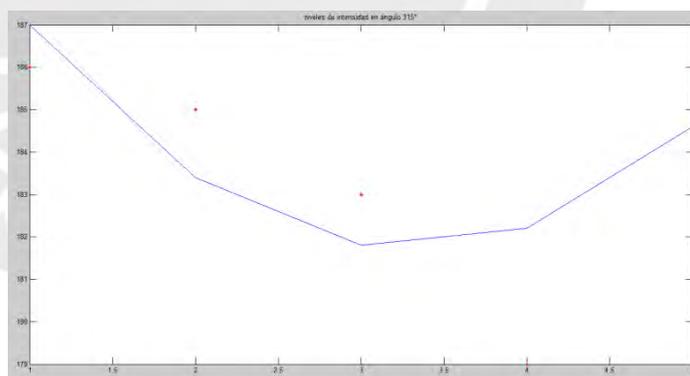


Figura 3.213 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = 1$, $a_1 = -6.6$, $a_0 = 192.6$

Como podemos ver en esta rama, encontramos 2 sectores con el coeficiente a_2 mayor a cero, por lo tanto no será tomado en cuenta para el posterior análisis.

ANÁLISIS DE UNA HOJA A ESCALA REAL

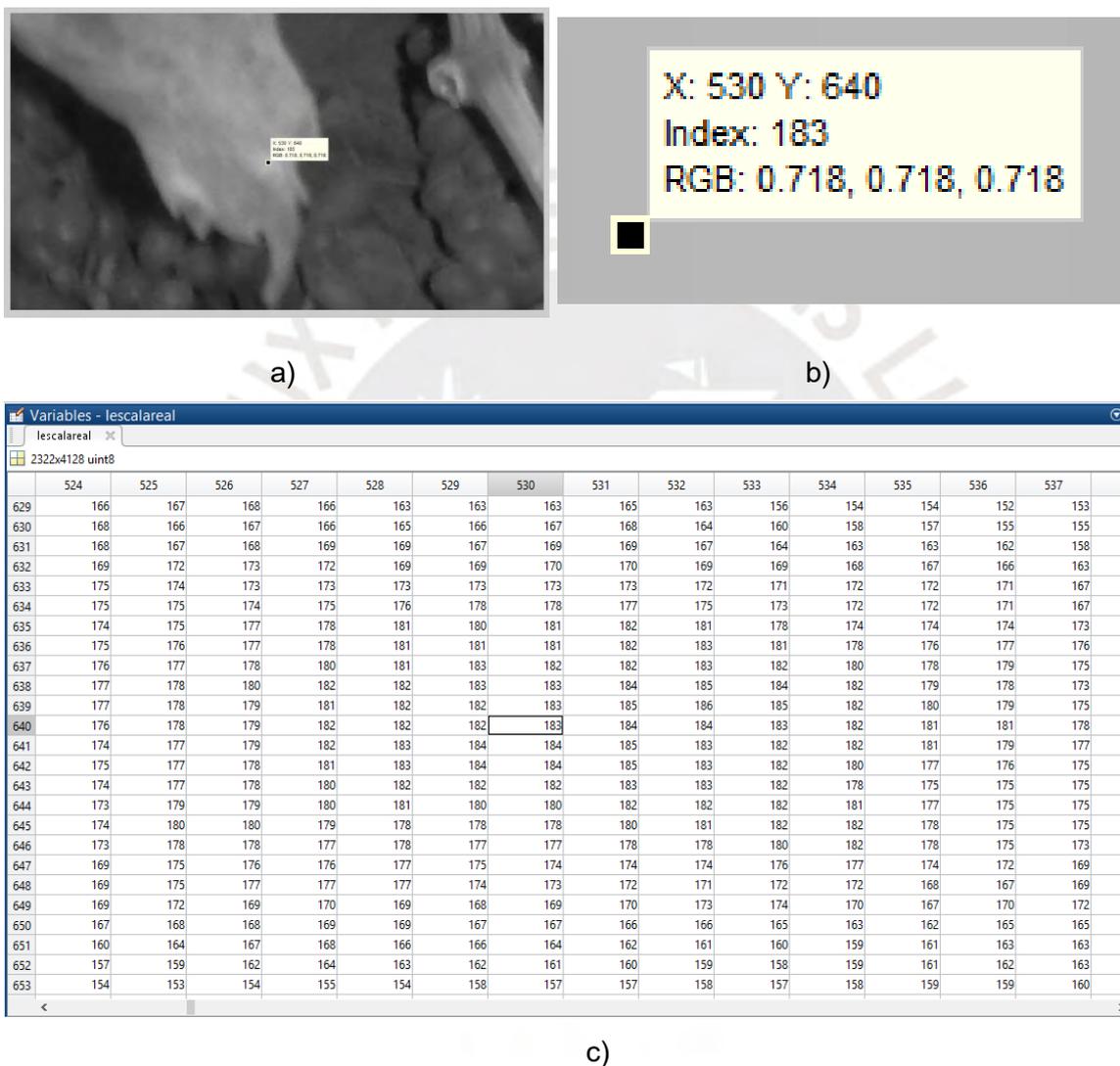


Figura 3.44 a) Hoja a escala real, b) coordenada del punto clave detectado a escala real, c) tabla que muestra los puntos alrededor del punto clave en un radio de 5 píxeles.

En las siguientes gráficas vamos a mostrar el ajuste cuadrático en los 8 sectores alrededor de este punto clave en un radio de 5 píxeles. Analizaremos su comportamiento y el rol que desempeña el coeficiente a_2 .

Para ángulo de 0°

x	y
1	184
2	184
3	183
4	182
5	181

Tabla 3.15 Niveles de intensidad.

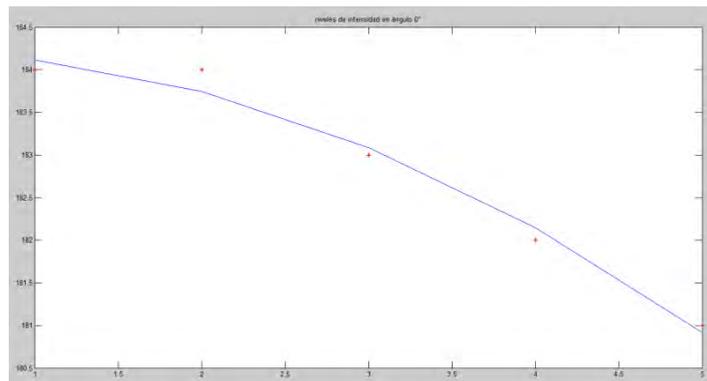


Figura 3.45 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = -0.1429$, $a_1 = 0.0571$, $a_0 = 184.2$

Para ángulo de 45°

x	y
1	185
2	185
3	182
4	178
5	174

Tabla 3.16 Niveles de intensidad.

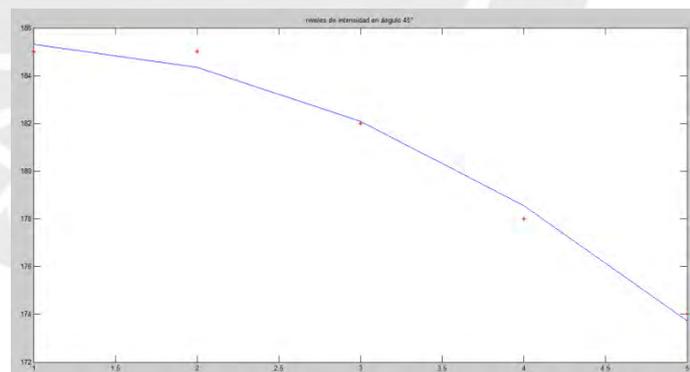


Figura 3.46 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = -0.6429$, $a_1 = 0.9571$, $a_0 = 185$

Para ángulo de 90°

x	y
1	183
2	183
3	182
4	181
5	181

Tabla 3.17 Niveles de intensidad.

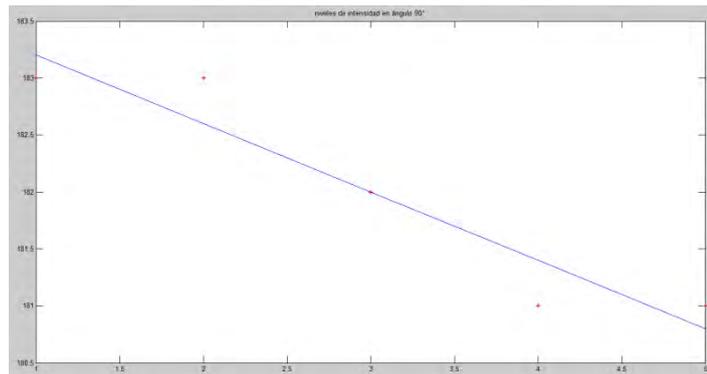


Figura 3.25 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = 0$, $a_1 = -0.6$, $a_0 = 183.8$

Para ángulo de 135°

x	y
1	182
2	182
3	180
4	177
5	175

Tabla 3.18 Niveles de intensidad.

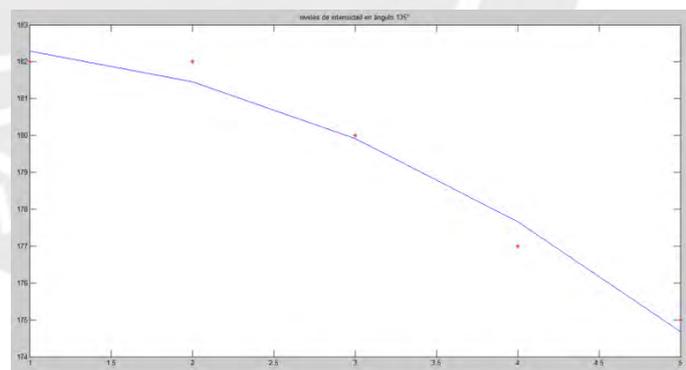


Figura 3.26 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = -0.3571$, $a_1 = 0.2429$, $a_0 = 182.4$

Para ángulo de 180°

x	y
1	182
2	182
3	182
4	179
5	178

Tabla 3.19 Niveles de intensidad.

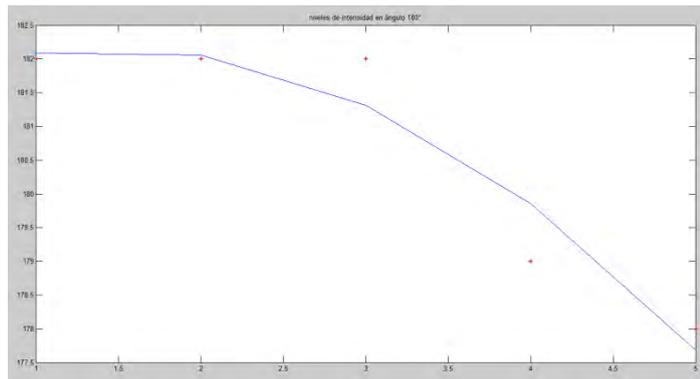


Figura 27 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = -0.3571$, $a_1 = 1.0429$, $a_0 = 181.4$

Para ángulo de 225°

x	y
1	184
2	183
3	180
4	179
5	180

Tabla 3.20 Niveles de intensidad.

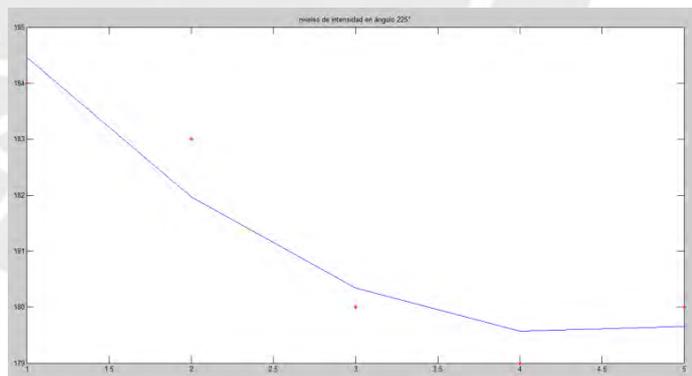


Figura 28.50 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ **(19)**

Dónde: $a_2 = 0.4286$, $a_1 = -3.7714$, $a_0 = 187.8$

Para ángulo de 270°

x	y
1	184
2	184
3	182
4	180
5	178

Tabla 3.21 Niveles de intensidad.

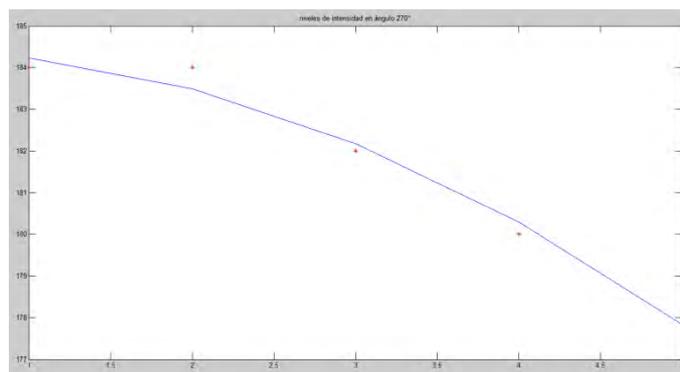


Figura 29 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -0.2857$, $a_1 = 0.1143$, $a_0 = 184.4$

Para ángulo de 315°

x	y
1	185
2	183
3	182
4	181
5	178

Tabla 3.22 Niveles de intensidad.

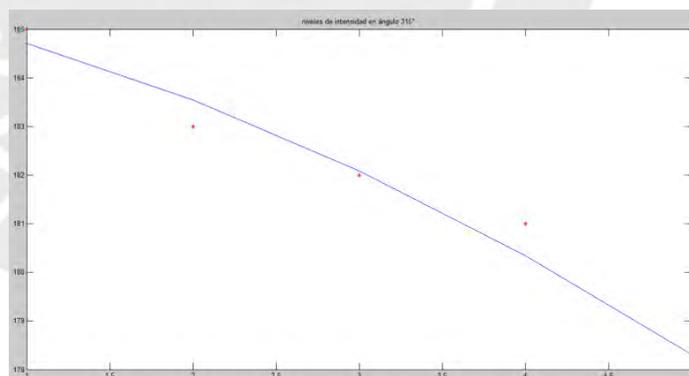


Figura 3.30 Los asteriscos rojos son los puntos de intensidad y la curva azul es el ajuste cuadrático.

La ecuación cuadrática obtenida es de la siguiente forma: $\hat{y} = a_2 \hat{x}^2 + a_1 \hat{x} + a_0$ (19)

Dónde: $a_2 = -0.1429$, $a_1 = -0.7429$, $a_0 = 185.6$

Como podemos ver en esta rama, encontramos solo un sector con el coeficiente a_2 mayor a cero, por lo tanto, no será tomado en cuenta para el posterior análisis.

Eliminar puntos máximos a un radio de 30 píxeles y con una diferencia máxima de 15 en nivel de intensidad.

A pesar de haber realizado todos los filtros anteriores para descartar puntos que no pertenecen a las bayas, todavía ubicamos algunos puntos presentes en las ramas y hojas, pero notamos que estos puntos están aproximados a una distancia no máxima de 30 píxeles y una diferencia de 15 en nivel de intensidad como máximo a diferencia de las distancias de baya en baya que supera estos valores. Por lo tanto descartaremos estos puntos como último filtro de nuestro algoritmo.



Figura 3.531 Puntos a eliminar presentes en una rama.

Definir un marcador en los puntos identificados.

Finalmente definiremos un marcador a los puntos claves identificados en las etapas anteriores para poder ubicarlos en la imagen a escala real y así poder observar la eficiencia de nuestro algoritmo.



Figura 324 Marcadores ubicados en la imagen a escala real

CAPÍTULO 4: Discusión, análisis y resultados.

En el presente capítulo se mostrará los resultados que brindará nuestro algoritmo desarrollado con todo el banco de datos a nuestra disposición, realizando una comparación con la cantidad bayas obtenidas en sus dos diferentes tamaños y turnos.

4.1 Método identificando el punto clave en bayas de 4mm y 14mm de diámetro máximo durante el día.

Para obtener los resultados de este método, se tomarán en cuenta todos los racimos presentes frontalmente al foco de la cámara.

Tabla 4.1 Resultado de las bayas de 4mm de diámetro máximo – turno mediodía.

Número de planta y ubicación	Número de bayas que se muestran en la imagen	Número de puntos detectados	Número de puntos que pertenecen a una baya	Número de puntos que no pertenecen a una baya
Planta 16 - parte inferior	300	1362	45	1317
Planta 16 - parte superior	347	1221	53	1168
Planta 17 – parte inferior	373	1951	159	1792
Planta 17 – parte superior	1035	2088	625	1463
Planta 18 – parte inferior	472	1872	126	1746
Planta 18 – parte superior	359	1283	148	1135
TOTAL	2886	9732	1156	8621

Tabla 4.2 Resultado de las bayas de 14mm de diámetro máximo – turno 3:45pm.

Número de planta y ubicación	Número de bayas que se muestran en la imagen	Número de puntos detectados	Número de puntos que pertenecen a una baya	Número de puntos que no pertenecen a una baya
Planta 16 - parte inferior	110	624	35	589
Planta 16 - parte superior	420	435	85	350
Planta 17 – parte inferior	330	574	56	518
Planta 17 – parte superior	240	408	43	365
Planta 18 – parte inferior	310	362	67	295
Planta 18 – parte superior	470	553	87	466
TOTAL	1880	2956	373	2583

En ambas tablas podemos notar diferencias marcadas entre la cantidad real de bayas que muestran las imágenes y la cantidad detectada con el algoritmo, más adelante se analizará el margen de error y acierto.

4.2 Método identificando el punto clave mediante el análisis de píxeles en bayas de 14mm de diámetro máximo durante la noche.

Para obtener los resultados de este método, se tomarán en cuenta todos los racimos presentes al frente del lente de la cámara y afectados en gran parte por el flash de la cámara, los racimos que no captaron el flash de la cámara o que se ubican detrás de racimos frontales no serán considerados para el análisis.

Tabla 4.3 Resultado de las bayas de 14mm de diámetro máximo – turno noche.

Número de planta y ubicación	Número de bayas captados por el flash de la cámara	Número de puntos detectados	Número de puntos que pertenecen a una baya	Número de puntos que no pertenecen a una baya
Planta 16 - parte inferior	203	215	167	48
Planta 16 - parte superior	143	129	81	48
Planta 17 – parte inferior	280	355	186	169
Planta 17 – parte superior	210	174	60	124
Planta 18 – parte inferior	110	219	75	159
Planta 18 – parte superior	70	146	45	45
TOTAL	1016	1238	614	593

Con los datos obtenidos mediante este algoritmo, se puede observar que mantiene datos más próximos al real.

4.3 Comparación entre resultados de los métodos aplicados.

Se va a comparar los diferentes resultados obtenidos de la siguiente forma:

$$A: \frac{\text{NUMERO DE PUNTOS QUE PERTENECEN A UNA BAYA DE 4MM TURNO MEDIODIA}}{\text{NUMERO DE BAYAS QUE SE ENCUENTRAN EN LA IMAGEN EN BAYAS 4MM TURNO MEDIODIA}} * 100 \quad (20)$$

$$B: \frac{\text{NUMERO DE PUNTOS QUE PERTENECEN A UNA BAYA DE 14MM TURNO 3:45PM}}{\text{NUMERO DE BAYAS QUE SE ENCUENTRAN EN LA IMAGEN EN BAYAS 14MM TURNO 3:45PM}} * 100 \quad (21)$$

$$C: \frac{\text{NUMERO DE PUNTOS QUE PERTENECEN A UNA BAYA DE 14MM TURNO NOCHE}}{\text{NUMERO DE BAYAS QUE SE ENCUENTRAN EN LA IMAGEN EN BAYAS 14MM TURNO NOCHE}} * 100 \quad (22)$$

$$D: \frac{\text{NUMERO DE PUNTOS QUE NO PERTENECEN A UNA BAYA DE 4MM TURNO MEDIODIA}}{\text{NUMERO DE PUNTOS DETECTADOS EN LA IMAGEN EN BAYAS 4MM TURNO MEDIODIA}} * 100 \quad (23)$$

$$E: \frac{\text{NUMERO DE PUNTOS QUE NO PERTENECEN A UNA BAYA DE 14MM TURNO 3:45PM}}{\text{NUMERO DE PUNTOS DETECTADOS EN LA IMAGEN EN BAYAS 14MM TURNO 3:45PM}} * 100 \quad (24)$$

$$F: \frac{\text{NUMERO DE PUNTOS QUE NO PERTENECEN A UNA BAYA DE 14MM TURNO NOCHE}}{\text{NUMERO DE PUNTOS DETECTADOS EN LA IMAGEN EN BAYAS 14MM TURNO NOCHE}} * 100 \quad (25)$$

Tabla 4.4 Comparación de resultados totales.

Número de planta y ubicación	A	B	C	D	E	F
Planta 16 - parte inferior	15.00%	31.81%	82.27%	96.70%	94.39%	22.33%
Planta 16 - parte superior	15.27%	20.24%	56.64%	95.66%	80.46%	37.21%
Planta 17 – parte inferior	42.63%	16.97%	66.43%	91.85%	90.24%	47.61
Planta 17 – parte superior	60.38%	17.91%	28.57%	70.10%	89.46%	71.26%
Planta 18 – parte inferior	26.69%	21.61%	68.18%	93.27%	81.49%	72.60%
Planta 18 – parte superior	41.23%	18.51%	64.29%	88.46%	84.27%	30.82%
PROMEDIO TOTAL EN %	33.53%	21.18%	61.06%	89.34%	86.72%	46.97%

4.4 Análisis y discusión de los resultados

Como podemos observar en la tabla 3.33, el porcentaje de acierto de bayas fue mucho mayor con el método identificando el punto clave mediante el análisis de píxeles en bayas de 14mm de diámetro máximo durante la noche. El hecho de no trabajar con iluminación ambiente en este método, da la ventaja de poder visualizar las bayas solo con el efecto del flash de la cámara. Así como se muestra en la figura 3.52, la cantidad de bayas mostradas presentan el efecto del flash para ubicar en gran porcentaje sus puntos clave, también es bueno mencionar que el porcentaje de puntos que no pertenecen a las bayas es mucho menor al otro método.



Figura 4.1 Imagen con bayas de 14mm de diámetro máximo en turno noche.

Conclusiones

En cuanto a los objetivos planteados en el presente trabajo de tesis, podemos concluir lo siguiente:

Se logró codificar un algoritmo utilizando el método de detección del punto clave en bayas de 14mm de diámetro máximo presentando como porcentajes de acierto máximos de 82.27%, 68.18% y 66.43%.

La diferencia de acierto entre los dos métodos lleva a concluir que es preferible captar las imágenes de las bayas en turno noche, ya que facilita detectar los puntos clave de esta.

El método utilizado en turno noche ha demostrado ser más eficaz que el método utilizado en turno mañana, además se ha comprobado que es mejor trabajar con las bayas de mayor diámetro.

Vemos que Matlab contiene comandos con los cuales podemos realizar diferentes funciones para procesar una imagen. En general, además de anexar una lista de comandos de instrucciones, ayuda a entender el procedimiento que se requiere para la detección de bayas.

Recomendaciones

Al observar la base de datos, se ha podido identificar que la posición de la cámara no mantiene una posición fija, por lo que es recomendable establecer una base que posicione la cámara lo más exacto posible al ángulo y distancia establecida.

El algoritmo que presenta mayor porcentaje de acierto, presenta en ciertos casos una exactitud por encima del 65%, por lo que se recomienda altamente seguir con el trabajo de investigación utilizando una nueva base de datos con una mayor cantidad de bayas siguiendo estas mismas características del efecto del flash.

Por último, el presente trabajo se realizó utilizando parámetros basados en nuestra base de datos, estos parámetros pueden variar si nuestra base de datos es mayor, lo recomendable es mantener imágenes con las mismas características a los del segundo método para variar en lo mínimo estos parámetros.

Bibliografía

- [1] Moreyra, J. (2019, marzo) La uva peruana: una oportunidad en el mercado mundial. Ministerio de Agricultura y Riego.(p. 3)
- [2] Asociación de Productores de Uva de Mesa del Perú (2016, Apr 15), [online]. Available FTP: <http://www.providperu.org>
- [3] Revista de la Asociación de Productores y Exportadores de Uva de Mesa del Perú PROVID. Crece exportación de uva de mesa, pese a conflictos internos. PROVID Digital,(005),p. 5.
- [4] YARA Knowledge grows. (2011). La producción mundial de la uva de mesa. <https://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/uva-de-mesa/la-produccion-mundial-de-la-uva-de-mesa/>
- [5] Zania S Pothen and Stephen Nuske. “Texture-based Fruit Detection via Images using the Smooth Patterns on the Fruit.”, Robotics and Automation (ICRA), 2016 IEEE International Conference on, Stockholm, Sweden, Jun. 2016.
- [6] Anisha Syal, Divya Garg, Shanu Sharma, “Apple Fruit Detection and Counting Using Computer Vision Techniques.”,Computational intelligence and Computing Research (ICCIC), 2014 IEEE international Conference on, Coimbatore, India, Sep. 2015.
- [7] Viveros Cortés, S.C.A (1945-2017), 46380 CHESTE (Valencia) ESPAÑA [online]. Available FTP: http://www.viveroscortes.com/p47_thompson_seedless.aspx
- [8] Javier Contreras, “Uva, la nueva Estrella de la agro exportación”, Diario la República, 07 Feb 2016 [online]. Available FTP: <http://larepublica.pe/imprensa/economia/739356-uva-la-nueva-estrella-de-la-agroexportacion>.
- [9] Infojardin, Jun 2017 [online]. <http://fichas.infojardin.com/trepadoras/vitis-vinifera-parra-uvas-uva-parra-vidueno.htm>
- [10] Los Andes, “Recolección de la uva, fruto de un año de trabajo de los viñateros”, Jun 2017 [online]. <http://losandes.com.ar/article/recoleccion-uva-fruto-trabajo-vinateros-550063>
- [11] Dami, I. and Sabbatini, P. 2011. Crop Estimation of Grapes. The Ohio State University Fact Sheet (HYG-1434-11).
- [12] Rabatel, G, and C Guizard, 2007. Grape Berry calibration by computer visión using elliptical model fitting. European Conference on Precision Agriculture, (6: pp. 581 – 587.)

[13] Nuske, S., Achar, S., Bates, T., Narasimhan, S., y Singh, S., 2011. Yield estimation in vineyards by visual grape detection. InProceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots Systems. (Pp. 2352-2358.)

[14] Md. Sharifur Rahman y Md. Rafiqul Islam, 2012. Counting objects in an image by Marker Controlled Watershed Segmentation and Thresholding. InProceedings of the 2013 IEEE International Advance Computing C



Anexos

- **Fotografías totales – base de datos.**
- **Fotografías evaluadas con los algoritmos.**
- **Código Matlab con el Método 1.**
- **Código Matlab con el Método 2.**

