

Algoritmo de Clasificación Visual de Tomates Chonto Según Norma NTC-1103-1 (Parámetros de Color, Tamaño y Forma)

Visual Classification Algorithm for Chonto Tomatoes According to Standard NTC-1103-1 (Color, Size and Shape Parameters)

Ing. Eduar Andrés Correa Cantillo ¹, Ing. Leonel Felipe Sotelo Jiménez ¹
PhD. Eugenio Yime Rodríguez ¹, PhD. Javier Agustín Roldán Mckinley ¹

¹ Universidad del Atlántico, Facultad de ingeniería mecánica, ingeniería mecánica, Puerto Colombia, Atlántico, Colombia.

Correspondencia: eugenioyime@mail.uniatlantico.edu.co

Recibido: 29 julio 2024. Aceptado: 10 diciembre 2024. Publicado: 01 enero 2025.

Cómo citar: E. A. Correa Cantillo, L. F. Sotelo Jiménez, E. Yime Rodríguez, y J. A. Roldán Mckinley, «Algoritmo de Clasificación Visual de Tomates Chonto Según Norma NTC-1103-1 (Parámetros de Color, Tamaño y Forma)», RCTA, vol. 1, n.º 45, pp. 146–158., ene. 2025. Recuperado de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/2894>

Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.



Resumen: Este artículo presenta el desarrollo e implementación de un sistema de bajo costo para la clasificación de tomates tipo Chonto de acuerdo con su color, forma y tamaño, conforme a los lineamientos definidos en la norma técnica colombiana NTC 1103-1. Para lograr el objetivo planteado, se realiza el desarrollo de un algoritmo de clasificación utilizando el lenguaje de programación Python y la librería de visión por computador OpenCV. Los resultados obtenidos muestran que en la clasificación para color y madurez se logra una precisión del 93%. En la clasificación por tamaño la precisión alcanzada fue del 98%. En cuanto a la evaluación de la excentricidad para determinar la forma, se obtuvo una precisión del 80%. Los valores antes mencionados de precisión son comparaciones respecto al resultado obtenido de forma manual por una persona entrenada, la cual se considera como la clasificación ideal. Sin embargo, se tiene que el tiempo de respuesta del algoritmo es un promedio de 0,48 seg, el cual es mucho menor al tiempo requerido por la inspección y clasificación humana. Con base en los altos porcentajes de precisión obtenidos, se concluye que el algoritmo desarrollado responde a la necesidad de detectar y clasificar tomates tipo Chonto de acuerdo a su color, tamaño y forma establecidos en la norma técnica colombiana NTC 1103-1.

Palabras clave: automatización, visión por computadora, clasificación de tomates.

Abstract: This article introduces the development and implementation a low-cost system for the classification of Chonto tomatoes according to their color, shape and size, in accordance with the Colombian technical standard NTC 1103-1. To achieve the proposed objective, a classification algorithm is developed using Python and OpenCV software. The obtained results show that the classification for color and maturity had an accuracy of 93%. In the classification by size the precision was 98%. Regarding the evaluation of eccentricity for determining the shape, an accuracy of 80% was obtained. The aforementioned precision values are comparisons with the result obtained manually by a trained person, which is

considered the ideal classification. However, the response time of the algorithm is 0.48 sec, in average, which is much less than the time required for human inspection and classification. In addition to precision achieved, it can be said that the developed software responds to the need to detect and classify chonto tomatoes according to their color, size and shape established in the Colombian technical standard NTC 1103- 1.

Keywords: automation, computer vision, tomatoes classification.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura se posiciona como uno de los sectores de producción de mayor relevancia en el mundo, [1]. Muchos países de Latinoamérica tienen como actividad económica principal la producción agrícola. Sin embargo, al estar las zonas de cosechas en lugares apartados de las ciudades, no suelen tener una buena tecnificación, es por esto, que gobiernos, instituciones académicas y gubernamentales, muestren un gran interés sobre cómo aumentar y mantener la calidad de los productos usando herramientas tecnológicas compactas, de bajo costo y de fácil manejo para los campesinos, [2], [3]. Según Hamdiyah Alhassan, [4], la mejora en la productividad agrícola es clave para el desarrollo sostenible de los países, por cuanto reduce la pobreza promoviendo el crecimiento económico en general.

El sector agrícola se ha visto en la necesidad de optimizar los procesos de clasificación de productos aptos para la comercialización, de forma que los tiempos de inspección mejoren y de esta forma aumente la producción; siendo la clasificación manual la práctica de selección más común en la industria alimentaria, [5]. Sin embargo, se considera una labor intensa, poco eficiente y precisa, debido a factores como la diferencia en la capacidad de percepción visual del personal que realiza la inspección, [6], principalmente. La ingeniería desde el área de control y automatización ha logrado integrar la visión por computadora a los sistemas que controlan procesos de selección y clasificación, de forma que estos sean cada vez más autónomos, eficaces y eficiente, [7].

En la actualidad, el tomate se posiciona como la décima primera hortaliza más cultivada en el mundo, [8]. En Colombia, el tomate es la segunda hortaliza más cultivada, obteniendo para el año 2021 una producción de 851,117 toneladas en un área sembrada de 18,996 hectáreas [9]. Las zonas de mayor siembra se encuentran ubicadas en Boyacá, Antioquia, Norte De Santander y Caldas, [10]. Las características climáticas y de los suelos en estas zonas, permiten un buen desarrollo del tomate que

se refleja en la alta calidad, [11], el buen sabor, alto valor nutritivo representado en vitaminas (A, B, C, y E) y en antioxidantes, convirtiéndolo en un alimento muy atractivo para los consumidores [12].

En el comercio del tomate, la calidad juega un papel muy importante en la toma de decisión del consumidor al momento de comprar, [13]. Los colores vivos, la frescura, el tamaño y los defectos superficiales del tomate, son los principales parámetros de selección de los consumidores, [14]. Asimismo, las empresas que exportan tomates deben asegurar estos parámetros dentro de los procesos de selección final, de tal forma que perduren durante el tiempo de transporte hasta que se comercialicen, [15]. La visión por computadora implementada en líneas de proceso en fábricas de tomates permite clasificar tomates de forma eficiente basados en su coloración (estado de madurez), en su tamaño, en su forma y detectando defectos, con lo cual se logra mejorar el control de calidad, reducir los tiempos de inspección y por ende reducción en los costos de operación, [16], [17].

Respecto a los avances tecnológicos desarrollados para la clasificación de tomates, se tiene que V. Pavithra et al, [18], desarrollaron un algoritmo de dos fases de clasificación para tomates tipo Cherry, usando SVM (Support Vector Machine) para determinar el estado de madurez de los tomates por medio del color y KNN (K-Nearest Neighbor), para correlacionar las características externas e internas del tomate, con base a la textura, color y forma. Similarmente, Marcos J. Villaseñor-Aguilar et al, [19] diseñaron e implementaron una nueva arquitectura de clasificación difusa basados en el modelo de color RGB, con el fin de optimizar los descriptores presentes en el espacio de color; con lo cual obtuvieron una mayor precisión para la identificación del estado de madurez de los tomates. De otra parte, Supriya V. Patil et al, [20], desarrollaron un sistema de procesamiento de imágenes para la detección de defectos superficiales y posterior clasificación de tomates rishika 225 usando OpenCV/Python. También S. Dhakshina Kuma et al, [21], propusieron un sistema de

inspección y clasificación no destructivo en tres fases, a partir del procesamiento de imágenes: extracción por medio de binarización, clasificación basada en coloración, y, por último, identificación de defectos superficiales en los tomates (puntos negros, canchales y melanosis en fruta).

El presente estudio nace a partir de la pregunta ¿Cómo implementar un sistema de visión por computadora de bajo costo para clasificar tomates tipo chonto siguiendo los parámetros de la norma técnica colombiana NTC-1103-1, [22], en cuanto a color, tamaño y forma?

2. METODOLOGÍA

Para este proyecto se escogió el tomate tipo chonto como objeto de estudio. Se seleccionaron 40 tomates de forma aleatoria con diferentes estados de maduración (color), tamaños y formas, los lugares de adquisición fueron distribuidoras de cadena y mercado local en la ciudad de Barranquilla. Un primer grupo conformado por 25 tomates, se destinó para extracción y análisis de características. El segundo grupo conformado por 15 tomates fue usado para la validación del algoritmo desarrollado. En la Fig. 1 y Fig. 2 se muestra las selecciones de tomates con diferentes variedades en color, tamaño y forma.



Fig. 1. Muestra de tomates tipo chonto adquiridos.
Fuente: elaboración propia.



Fig. 2. Estados de maduración, forma y tamaños seleccionados.
Fuente: elaboración propia.

2.1 Sistema de visión por computadora

El sistema de visión por computadora para la toma y procesamiento de imágenes, Fig. 3, está compuesto por hardware y software. El hardware lo integra una cámara tipo webcam (marca Asisttics modelo WCFHD01 con resolución 1080p), dos bombillos, uno marca Smart Bulb dual color con 1200 lumens y potencia de 12W con variación de intensidad lumínica por medio de conexión Wifi, el otro bombillo es un led comercial de 5W, una computadora Marca Hp® con 8 Gb de RAM y procesador Ryzen 3 3500U, sistema operativo Windows® 10 (64bits). El software usado para la programación fue Python versión 3.7, la librería base para el procesamiento de imágenes usada fue Open CV en su versión 4.0.1, todo manejado desde el entorno de desarrollo integrado Spyder.

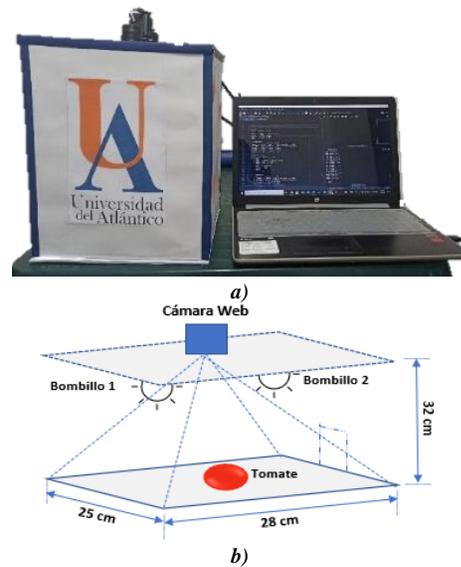


Fig. 3. a) Representación del sistema de control por visión para la detección del tomate.

b) Esquema del área interna para detección y extracción de características

Fuente: elaboración propia.

2.2 Algoritmo de detección y clasificación

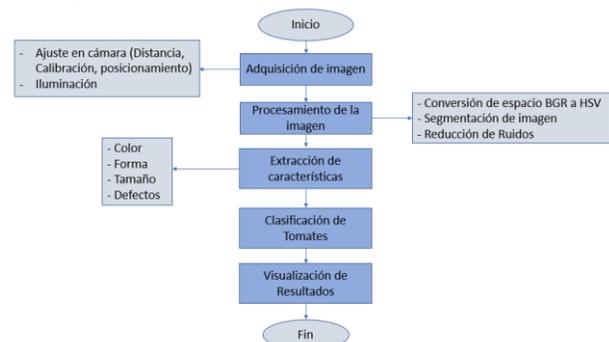


Fig. 4. Algoritmo de clasificación de tomates tipo chonto.

Fuente: elaboración propia

El algoritmo de detección y clasificación de tomates, consta de las fases de: adquisición de imagen (donde el papel fundamental aquí es una buena calibración de la cámara), procesamiento de imagen (con las fases de segmentación y transformaciones morfológicas), extracción de características (con las etapas de determinación del color, tamaño, forma y defectos del tomate), y visualización de resultados en la interfaz gráfica. A continuación, se describe como se realizó el proceso de calibración de la cámara, y como se realiza la segmentación y las transformaciones morfológicas.

2.2.1. Calibración

Se calibró la cámara para eliminar en gran medida toda posible distorsión introducida durante la adquisición de las imágenes. El proceso realizado siguió la propuesta de Zhang, [23], de emplear patrones similares a los de un tablero de ajedrez. Se tomaron 27 imágenes del patrón con dimensiones 5x4 en diferentes ángulos. El algoritmo de calibración de Zhang detectó 26 para su análisis y arrojó los valores de los parámetros intrínsecos de la cámara, tales como: matriz de cámara y coeficiente de distorsión. Ver Fig. 5 a) y b).

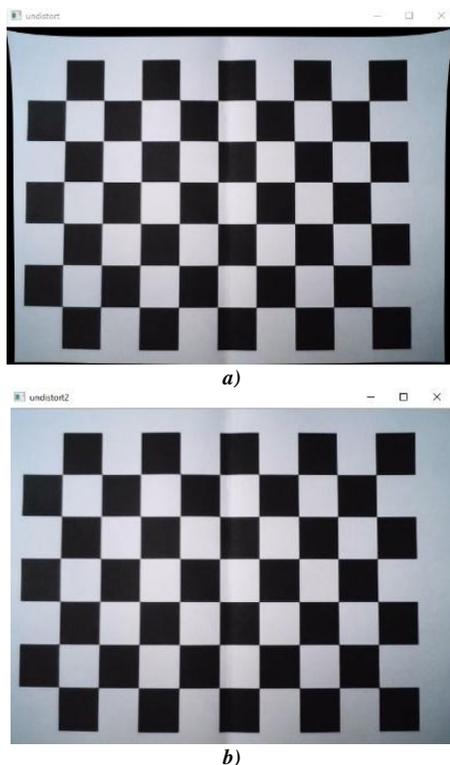


Fig. 5. a) imagen de patrón previo a proceso de calibración de la cámara (imagen distorsionada)
 b) imagen de patrón post-calibración de la cámara (imagen sin distorsión)

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Espacios de color

La cámara usa un sensor basado en tres canales rojo, verde y azul, espacio RGB (*Red-Green-Blue*). Sin embargo, RGB no es un espacio de color adecuado para el reconocimiento de colores. Por lo anterior, se trabaja el espacio de color HSV (*Hue-Saturation-Value*). En este espacio se amplía la gama de colores incluyendo sus tonalidades y saturación a la luz, de esta forma se aumentó la precisión y exactitud en el reconocimiento y correcta asignación de colores de todos los pixeles que encierran los tomates estudiados, [24]. La Fig. 6 ilustra una imagen en el espacio HSV.

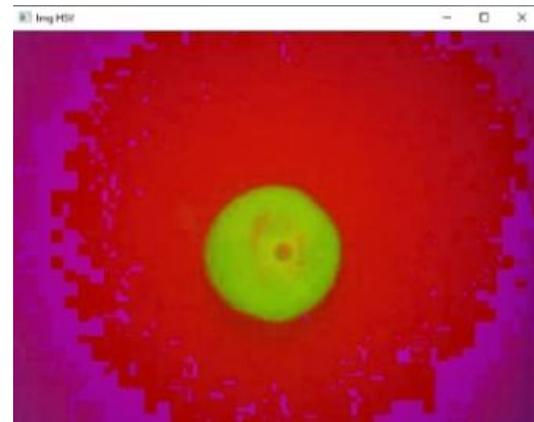


Fig. 6. Conversión del espacio de color RGB a HSV
Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Segmentación

La técnica de segmentación se emplea para detectar los límites del tomate y el fondo de la imagen, de esta forma se calculan las dimensiones del tomate, su forma, y estado del mismo. Para el reconocimiento del tomate se procedió a determinar los valores en el espacio HSV que representan el rango de color del tomate según su estado de madurez, delimitándolo del fondo (background), Ver Fig. 7.

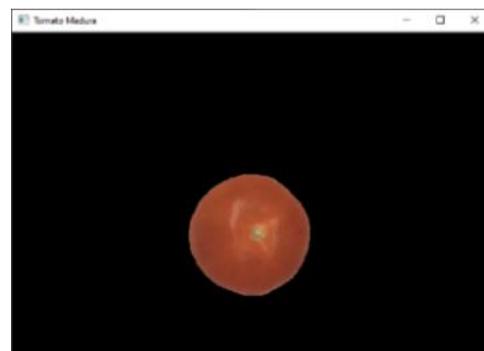


Fig. 7. Segmentación del tomate usando thresholding
Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Transformaciones morfológicas

Al proceso de segmentación le siguen las transformaciones morfológicas, con lo cual se busca reducir el ruido introducido por la adquisición digital de la imagen. Los procesos empleados fueron el “Opening” y “Closing”, [25]. En la Fig. 8a) se aprecia el resultado después del proceso de “Opening”, mientras que en la Fig. 8b) se observa el resultado final después del proceso de “Closing”.

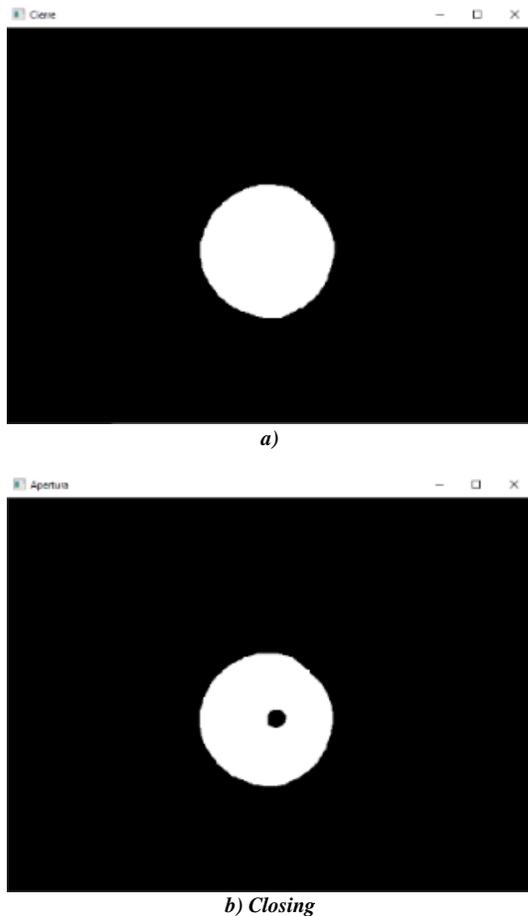


Fig. 8. Aplicación de transformaciones morfológicas.
 Fuente: elaboración propia.

2.3. Extracción de características

Tabla 1: Estados de madurez definidos en la norma NTC-1103-1

| Grado | Descripción |
|---|---|
| Verde | La superficie es completamente verde. El fruto ha alcanzado su tamaño máximo. El tono puede variar de claro a oscuro. |
| Coloración incipiente (1/4 pintón) | Muestra un cambio definido de color, de verde a amarillo opaco, rosa o rojo claro, pero no más del 30% de la superficie del tomate. |
| Coloración media (1/2 pintón) | Muestra entre el 30 y el 60% de la superficie en color rosa o rojo. |

| | |
|---|--|
| Coloración avanzada (3/4 pintón) | Más del 60% de la superficie presenta un color rosado-rojizo o rojo, pero el fruto aún no está completamente rojo. |
| Rojo | Ha desarrollado un color rojo intenso en toda la superficie. |

Fuente: Norma técnica colombiana NTC-1103-1.

2.3.1. Extracción de color

La norma técnica colombiana NTC-1103-1 establece unos grados de maduración del tomate según su color, los cuales se ilustran en la Tabla 1. Una descripción gráfica más detallada se puede apreciar en la Fig. 9. La fase de extracción de color consiste en determinar experimentalmente los valores HSV que corresponden a los grados de color dados por la norma NTC 1103-1.



Fig. 9. Tipos de grados de madurez en base a su coloración de los tomates
 Fuente: [26].

Para lograr la correlación entre los grados de color de la norma y los valores HSV, se procedió a analizar el valor obtenido para cada tomate de un grupo de prueba de 25. El objetivo es definir los límites inferior y superior para cada grado de color, que se denominará estado de maduración del tomate. La tabla 2 ilustra los resultados obtenidos después de analizar los 25 tomates. Los grados que se establecieron fueron: tomate maduro, tomate pintón, tomate verde, defectos del tomate (es decir áreas dañadas).

Tabla 2: Valores HSV para reconocimiento de estados de madurez de los tomates usando su porcentaje de color

| Características del tomate | Rango inferior HSV | Rango superior HSV |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
| Tomate Maduro (Rojo) | (0,117,0) | (11,255,255) |
| Tomate Pintón (Amarillo) | (10,95,108) | (18,255,255) |
| Tomate Verde | (16,78,0) | (35,255,255) |
| Áreas Defectuosas del tomate | (0,0,0) | (179,255,93) |

Fuente: elaboración propia

El procedimiento de toma de decisión de si un tomate pertenece a una de las cuatro categorías antes mencionada consiste en contar el número de píxeles para cada rango de color, [26]. Una vez obtenido los datos correspondientes para cada grupo, se estableció un condicional para establecer los estados de madurez. Si al menos 90% de los píxeles corresponden al color rojo, entonces el tomate se clasificará como Maduro. Similarmente, si al menos 90% de los píxeles corresponde al color verde, el tomate será clasificado como Inmaduro. Para el caso del grado de madurez pintón se estableció que, el porcentaje de color naranja debería estar entre 60%-90%. Los porcentajes de color verde deberían por debajo de 40%, y, los porcentajes de color rojo debían ser inferior al 10%.

2.3.2. Estimación del Tamaño del Tomate

La estimación del tamaño del tomate se implementó usando un enfoque similar al método propuesto por Chanchal Gupta, [27]. Primero se detecta el área ocupada por la imagen del tomate ya segmentada, en OpenCV esto se logra con la función "contourArea". Posteriormente, se calcula el perímetro del área reconocida, en OpenCV esto se logra con la "arcLengh". El tercer paso consiste en determinar el contorno rectangular cerrado que delimita el área, en OpenCV esto se logra con la función "minAreaRect". El cuarto paso consiste en detectar los puntos característicos del rectángulo, esto se logra con la función "boxPoints". Por último, se dibuja y calcula el rectángulo que delimita el área con la función "boundingRect". Se considera que los lados del rectángulo corresponden a los diámetros de los ejes principales del tomate, según su forma ovalada.

Debido a que el tamaño obtenido tiene unidades de la imagen, o píxeles, se hace necesario transformar dichas unidades a valores métricos. Para ello se calcula un factor de conversión de píxeles a unidades de longitud, resultando en 27.2727 píxeles/centímetro. Este factor es constante dado que la cámara posee una posición fija respecto al área de detección de los tomates. Sin embargo, si cambian las condiciones de captura de la imagen, el software creado permite recalcularse el factor de conversión y modificar el mismo.

Para la clasificación del tamaño de los tomates, según norma NTC-1103-1, se considera el tomate como una elipse con definiciones de diámetro mayor y diámetro menor. Se clasifican los tomates como tomates (Small-sized) aquellos tomates que midan desde 3 cm hasta 5.4 cm de diámetro menor;

mediano (Medium-sized) se consideran los que tengan entre 5.4 cm y 7.7cm de diámetro menor; y tomate grande (Large-sized) para los que tienen diámetros mayores a 7.7 cm hasta los 12 cm.

La Fig. 10 muestra el procedimiento antes descrito y el resultado para la estimación del tamaño del tomate conforme a los parámetros establecidos en la norma NTC.1103-1. En ella se puede apreciar que, para el tomate visualizado, la clasificación corresponde a un tomate mediano (entre 5.4cm y 7.7cm).

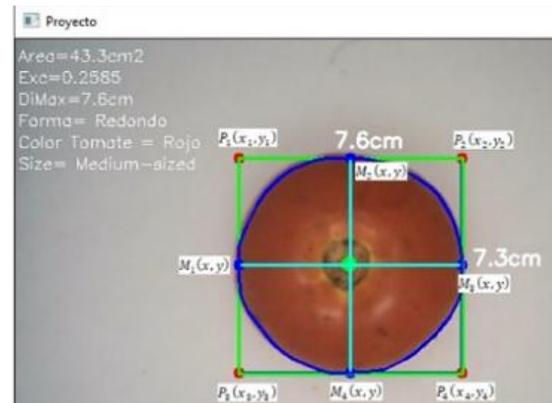


Fig. 10. Detección del área del tomate para estimación de su tamaño.

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Estimación de la Forma del Tomate

De acuerdo con Arjenaki's, [28], la forma del tomate puede identificarse por su curvatura, la cual clasifica la forma de un objeto como "redonda" u "oblonga" (ovalado). Para encontrar el índice de forma del tomate se calculó su excentricidad ϵ . Esta medida permite establecer cuanto se desvió el objeto de ser circular. La excentricidad de un círculo es $\epsilon = 0$, pero para una elipse su excentricidad está en el rango $0 < \epsilon < 1$. La ecuación, ec. (1), es la empleada para medir la excentricidad.

$$\epsilon = 2 \sqrt{\frac{\left(\frac{L_{max}}{2}\right)^2 - \left(\frac{L_{min}}{2}\right)^2}{L_{max}}} \quad (1)$$

donde L_{max} y L_{min} son las longitudes de los ejes máximo y mínimo respectivamente de acuerdo con [29]. Para efectos de este artículo; la excentricidad se definió basada en el análisis de los primeros 25 tomates un valor de $\epsilon < 0.4$ para tomates redondos y una excentricidad $\epsilon > 0.4$ para los tomates oblongos.

2.3.2. Detección de defectos del Tomate

La detección de áreas dañadas, o defectos, en el tomate, se hizo a partir del análisis de algunos tomates en mal estado. Estos tomates tenían en su superficie daños donde se hacía evidente un color negro mayoritario en la superficie, considerada como defectuosa. El siguiente paso fue analizar los valores correspondientes a la intensidad del color para esa superficie en mal estado. El análisis de los valores arrojó un umbral del 5%, si el valor de los píxeles con el color dañado es superior al umbral se considera que el tomate en su superficie esta defectuosa, es decir la fruta es de mala calidad (No saludable).

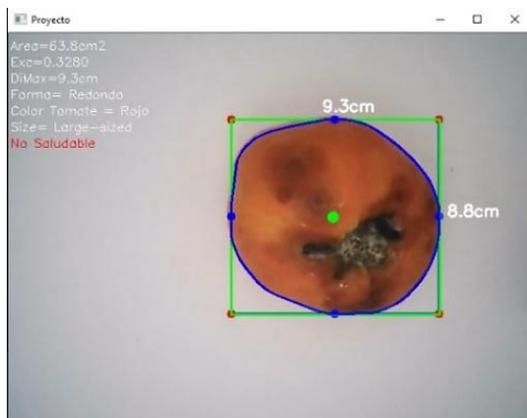


Fig. 11. Detección del tomate en mal estado.
 Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS

La metodología empleada para el desarrollo del software consistió en emplear 40 tomates, dividirlos en dos grupos, un primer grupo de 25 tomates para determinar las variables que definen las características principales de los tomates en cuanto color, tamaño y forma, y un segundo grupo de 15 tomates para validar los resultados arrojados por el software. Las imágenes tomadas al segundo grupo de 15 tomates se encuentran en el Anexo 1 a modo de referencia. Los resultados de la comparación entre la clasificación manual y la clasificación del software para el segundo grupo de 15 tomates se agrupan en las Tablas 3, 4 y 5. El objetivo de esta prueba es validar el grado de exactitud con el cual se logra la clasificación de los tomates. La Tabla 3 contiene la comparación entre color y estado, tanto manual como los valores arrojados por el software. La Tabla 4 muestra la comparación de las dimensiones entre los dos ejes principales de los tomates, se compara los valores arrojados por el software versus los valores reales medidos con pie de rey. Por último, la Tabla 5 contiene la

comparación de la clasificación por tamaño, tanto de forma manual como por software.

Los resultados de la clasificación por color y estado, Tabla 3, muestran una única discrepancia entre la clasificación manual y el valor arrojado por software. Esta discrepancia ocurre en el tomate 11, la cual se reproduce en la Fig. 12.

La discrepancia es por cuanto en la inspección visual se puede observar la superficie del tomate en su totalidad, mientras que el algoritmo de clasificación solo se realiza la toma superior. Sin embargo, se aprecia una precisión de 14/15, es decir del 93.33% en color. Respecto al estado, el software fue capaz de reconocer los defectos con una exactitud del 100%.

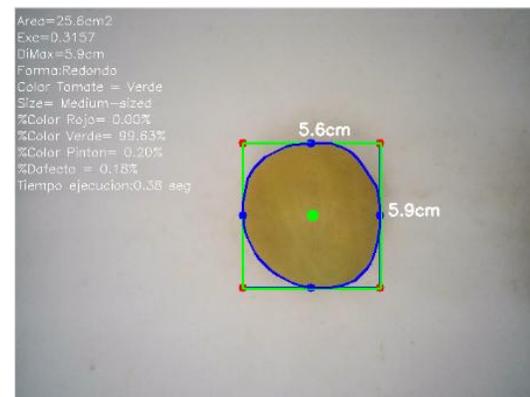


Fig. 12. Tomate con discrepancia en clasificación por color.
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Resultados de reconocimiento de color y defectos del tomate

| No. | Color (Real) | Color (Algoritmo) | Estado (Manual) | Estado (Programa) |
|-----|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | Rojo | Rojo | Optimo | Optimo |
| 2 | Rojo | Rojo | Optimo | Optimo |
| 3 | Verde | Verde | Optimo | Optimo |
| 4 | Pintón Avanzado | Pintón Avanzado | No saludable | No saludable |
| 5 | Medio Pintón | Medio Pintón | No saludable | No saludable |
| 6 | Verde | Verde | Optimo | Optimo |
| 7 | Medio Pintón | Medio Pintón | Optimo | Optimo |
| 8 | Pintón Incipiente | Pintón Incipiente | Optimo | Optimo |
| 9 | Rojo | Rojo | Optimo | Optimo |
| 10 | Pintón Avanzado | Pintón Avanzado | Optimo | Optimo |
| 11 | Medio Pintón | Medio Pintón | Optimo | Optimo |
| 12* | Pintón Incipiente | Verde | Optimo | Optimo |

| | | | | |
|----|--------------|--------------|--------|--------|
| 13 | Verde | Verde | Optimo | Optimo |
| 14 | Medio Pintón | Medio Pintón | Optimo | Optimo |
| 15 | Rojo | Rojo | Optimo | Optimo |

* Discrepancia en la clasificación por Color.

Fuente: elaboración propia

Los resultados para la medición visual de los tomates, agrupados en la Tabla 4, muestran que existe una discrepancia máxima del 9.84%, o 6.9

mm, entre la dimensión real de un tomate y el valor obtenido por el software. Sin embargo, hay que anotar que dicho valor es aceptable para una medición por métodos visuales sin recurrir a la visión estéreo; por lo que se considera que la medición sirve como indicativo para poder determinar el tamaño y la forma del tomate siguiendo los lineamientos de la norma NTC-1103-1.

Tabla 4: Reconocimiento de tamaños del tomate

| No | Eje mayor [cm] | Eje menor [cm] | Eje mayor (Manual) [cm] | Eje menor (Manual) [cm] | % Error eje mayor | % Error eje menor | Tamaño (Real) | Tamaño (Programa) |
|----|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|
| 1 | 5,4 | 5,3 | 5,38 | 5,3 | 0,37% | 0,00% | Pequeño | Pequeño |
| 2 | 6,8 | 6,7 | 6,79 | 6,1 | 0,15% | 9,84%* | Mediano | Mediano |
| 3 | 5,7 | 5,2 | 5,73 | 5,3 | 0,52% | 1,89% | Mediano | Mediano |
| 4 | 6,4 | 6 | 6,28 | 6,1 | 1,91% | 1,64% | Mediano | Mediano |
| 5 | 6,1 | 5,4 | 5,71 | 5,47 | 6,83% | 1,28% | Mediano | Mediano |
| 6 | 5,8 | 5,6 | 5,79 | 5,62 | 0,17% | 0,36% | Mediano | Mediano |
| 7 | 7,1 | 5,9 | 7,28 | 5,67 | 2,47% | 4,06% | Mediano | Mediano |
| 8 | 5,8 | 5,1 | 6,025 | 5,2 | 3,73% | 1,92% | Mediano | Mediano |
| 9 | 9,7 | 8,2 | 9,54 | 8,04 | 1,68% | 1,99% | Grande | Grande |
| 10 | 6,2 | 6 | 6,12 | 5,89 | 1,31% | 1,87% | Mediano | Mediano |
| 11 | 8,8 | 8,3 | 8,58 | 8,33 | 2,56% | 0,36% | Grande | Grande |
| 12 | 5,9 | 5,6 | 5,785 | 5,59 | 1,99% | 0,18% | Mediano | Mediano |
| 13 | 4,6 | 4,3 | 4,7 | 4,32 | 2,13% | 0,46% | Pequeño | Pequeño |
| 14 | 4,5 | 4,3 | 4,525 | 4,4 | 0,55% | 2,27% | Pequeño | Pequeño |
| 15 | 4,1 | 3,9 | 4,09 | 3,94 | 0,24% | 1,02% | Pequeño | Pequeño |

* Porcentaje de error máximo en la medición del tamaño.

Fuente: elaboración propia

Por último, con respecto a la clasificación de los tomates por forma, se tienen los resultados agrupados en la Tabla 5, donde se han incluido los cálculos de las excentricidades de los dos ejes del tomate, tanto la calculada por el programa, como la medida con el instrumento de medición pie de rey. En este caso, se nota que hay tres casos donde se difiere la clasificación arrojada por el programa respecto a los valores medidos. Los tomates que difieren son los numerados dos, tres y cinco. La explicación para esta discrepancia es la toma de la foto que solo se puede hacer de forma superior, pero manualmente se puede girar el tomate para poder tomar otros valores como la altura del mismo, que no se puede apreciar con una sola cámara.

Tabla 5: Reconocimiento de tamaños del tomate

| No | ϵ_p (Programa) | ϵ_m (Manual) | Forma (Programa) | Forma (Actual) |
|----|-------------------------|-----------------------|------------------|----------------|
| 1 | 0,1796 | 0,1718 | Redondo | Redondo |
| 2* | 0,1778 | 0,4392 | Redondo | Oblongo |
| 3* | 0,4158 | 0,3801 | Oblongo | Redondo |
| 4 | 0,3538 | 0,2377 | Redondo | Redondo |

| | | | | |
|----|--------|--------|---------|---------|
| 5* | 0,4728 | 0,2869 | Oblongo | Redondo |
| 6 | 0,2119 | 0,2405 | Redondo | Redondo |
| 7 | 0,5576 | 0,6272 | Oblongo | Oblongo |
| 8 | 0,5008 | 0,5051 | Oblongo | Oblongo |
| 9 | 0,5342 | 0,5383 | Oblongo | Oblongo |
| 10 | 0,2751 | 0,2716 | Redondo | Redondo |
| 11 | 0,3378 | 0,2396 | Redondo | Redondo |
| 12 | 0,3157 | 0,2574 | Redondo | Redondo |
| 13 | 0,3264 | 0,3939 | Redondo | Redondo |
| 14 | 0,2462 | 0,2334 | Redondo | Redondo |
| 15 | 0,254 | 0,2683 | Redondo | Redondo |

* Discrepancias en la clasificación por forma.

Fuente: elaboración propia

4. CONCLUSIONES

La presente investigación establece una forma automática de clasificar tomates tipo Chonto por color, tamaño, forma y defectos superficiales siguiendo los lineamientos establecidos por la norma técnica colombiana NTC 1103-1. empleando un software de procesamiento de imágenes. Se

programó una rutina de análisis de las fotografías del tomate mediante la integración del lenguaje Python y la librería Open Computer Vision (OpenCV), para el procesamiento de imágenes.

Los resultados obtenidos muestran que el algoritmo de clasificación alcanzó precisiones del 80% en forma, 93.33% en color, y 100% en tamaño y defectos. Estos valores se consideran satisfactorios, considerando que únicamente se analizó una foto en cada caso; sin embargo, el bajo porcentaje de clasificación de forma sugiere que se debería tomar más de una foto para mejorar este porcentaje.

Se sugiere como trabajo futuro la integración de un sistema mecánico para rotación del tomate que permita la captura y posterior análisis de más de una foto desde diferentes ángulos, y de esta manera se podrá obtener la altura del tomate y evaluar posibles efectos laterales, además del color y la forma. Considerando que el tiempo máximo de ejecución de la rutina de evaluación por cada foto es de 0.48 segundos, las evaluaciones de 3 fotografías, por ejemplo, no anticipan un tiempo muy largo de evaluación completa del producto.

En cuanto al uso del algoritmo, se espera que este se pueda programar en un futuro cercano en el controlador de un robot Delta académico que posee la Universidad del Atlántico, de manera que se pueda realizar en tiempo real la clasificación y selección de tomates siguiendo las pautas establecidas en la norma técnica colombiana NTC 1103-1.

REFERENCIAS

- [1] J.M. Moreno Hernández, I. Benítez García, J.C. Ramírez Suarez, y E. Sánchez, “Strategies for production, characterization and application of protein-based biostimulants in agriculture: A review”, *Chil. J. Agric. Res.*, vol. 80, no. 2, pp. 274-289, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000200274>.
- [2] FAO., Informe del Foro Regional de Agroindustrias en América Latina, Roma, Verónica Russo, 2011.
- [3] Gert-Jan, S., et al., Investigación Agropecuaria en Latinoamérica y el Caribe: Un análisis de las Instituciones, la Inversión y las Capacidades entre Países. Región Americas: Inter-American Development Bank, 2016.
- [4] Hamdiyah Alhassan, “The effect of agricultural total factor productivity on environmental degradation in sub-Saharan Africa”, *Scientific African*, vol. 12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00740>.
- [5] David Ileri, Eisa Belal, Cedric Okinda, Nelson Makange, Changying Ji, “A computer vision system for defect discrimination and grading in tomatoes using machine learning and image processing”, *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 2, pp. 28-37, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.06.001>.
- [6] O. Arjenakı , P. Moghaddam and A. Motlagh , "Online tomato sorting based on shape, maturity, size, and surface defects using machine vision", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 37, no. 1, pp. 62-68, article 7, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1201-10>.
- [7] A. Maertens, C.B. Barrett, “Measuring Social Networks' Effects on Agricultural Technology Adoption”, *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 95, no.2, pp. 353-359, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aas049>.
- [8] J. Rodríguez C., A. Pérez G., L. Ortega Ga., y M. Arteaga B., “Estudio hidrosostenible en el cultivo del tomate, su efecto en el rendimiento y calidad del fruto”. *Cultivos Tropicales*, vol. 41, no.2, e06, 2020. [En línea] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200006&lng=es&nrm=iso
- [9] Análisis de resultados EVA evaluaciones agropecuarias municipales 2021, *Miniagricultura*, pp 8. [En línea] Disponible en: https://upra.gov.co/es-co/Evas_Documentos/20220511_Resultados_EVA_2021.pdf#search=tomate
- [10] J. A. Salazar Peña, “Implementación de un cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*) como nueva alternativa de diversificación agrícola, en el municipio de Chaparral, Tolima”, informe final de grado, Departamento Ingeniería Agronómica, Universidad de la Salle, Yopal, Casanare, 2019.
- [11] J. A. Gutiérrez, F. D. Ávila, L. M. León, M. I. Pinzón, y A. Londoño, “Residualidad de fitosanitarios en tomate y uchuva cultivados en Quindío (Colombia)”. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, vol. 18, no.3, pp. 571-582. 2017. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:745.
- [12] L. Andrade Daza, “Cultivo de tomate (*solanum lycopersicum* L.) y maíz (*zea mays*) como alternativa de sostenimiento para familias campesinas en Algeciras, Huila”, Informe final de grado, Departamento Ingeniería

- Agronómica, Universidad de la Salle, Yopal, Casanare, 2019.
- [13] Nashwa El-Bendary, Esraa El Hariri, Aboul Ella Hassanien, Amr Badr, "Using machine learning techniques for evaluating tomato ripeness", *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 4, pp. 1892-1905, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.057>.
- [14] Liu L, Li Z, Lan Y, Shi Y, Cui Y "Design of a tomato classifier based on machine vision" *PLoS ONE*, vol. 14, no.7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219803>.
- [15] Megha.P. Arakeri, Lakshmana, "Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture industry", *Procedia Computer Science*, vol. 79, p. 426-433, ISSN 1877-0509, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.055>.
- [16] A. Patiño, F. Salazar, H. Ramírez, J. Velandia. "Implementación de un sistema de control redundante basado en una arquitectura de Internet de las Cosas (IoT)". *Información tecnológica*, vol. 33, no. 2, pp. 181-192, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200181>.
- [17] V G, Narendra, y S. Hareesha. "Quality Inspection and Grading of Agricultural and Food Products by Computer Vision- A Review". *International Journal of Computer Applications*. vol.2, no.1, pp 43-65, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5120/612-863>.
- [18] V. Pavithra, R. Pounroja, y B. S. Bama, "Machine vision based automatic sorting of cherry tomatoes," 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), pp. 271-275, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/ECS.2015.7124907>.
- [19] M. J. Villaseñor, J. E. Botello, F. J. Pérez, M. Cano, M. F. León, M. G. Bravo, and A. I. Barranco, "Fuzzy Classification of the Maturity of the Tomato Using a Vision System", *Journal of Sensors*, vol. 9, no. 4, pp. 12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3175848>.
- [20] V P. Supriya, M J. Vaishnavi, K D. Komal, y B.P.Kulkarni, "Fruit Quality Detection using OpenCV/Pyhon", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 7, no.5, 2020. [en línea] Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V7/i5/IRJET-V7I51254.pdf>
- [21] S. Dhakshina Kumar, S. Esakkirajan, S. Bama, y B. Keerthi veena, "A microcontroller based machine vision approach for tomato grading and sorting using SVM classifier", *Microprocessors and Microsystems*, vol. 76, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103090>.
- [22] Industrias alimentarias. Tomate de Mesa, Norma Técnica Colombiana NTC 1103-1, 2001. [En línea]. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/gp-industrias-alimentarias-tomates-de-mesa-ntc1103-1-1995.html>
- [23] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, 2000, DOI: <https://doi.org/10.1109/34.888718>.
- [24] Chernov, V., Alander, J., & Bochko, V. "Integer-based accurate conversion between RGB and HSV color spaces". *Computers & Electrical Engineering*, vol. 46, pp. 328–337. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.08.005>.
- [25] Shavetov, S. V., Merkulova, I. I., Ekimenko, A. A., Borisov, O. I., & Gromov, V. S. "Computer Vision in Control and Robotics for Educational Purposes". *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 9, pp.127–132. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.136>.
- [26] J. E. Jaramillo, et al. Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. Capítulo 9, pp 437, [online]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13320>
- [27] C. Gupta, V.K. Tewari, R. Machavaram, P. Shrivastava, "An image processing approach for measurement of chili plant height and width under field conditions", *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, vol. 21, no.3, pp. 171-179, 2022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.07.007>.
- [28] Omid-Arjenaki, Omid & Moghaddam, Parviz & Motlagh, Asaad, " Online tomato sorting based on shape, maturity, size, and surface defects using machine vision", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 37, no. 1, pp. 62-68, 2013, DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1201-10>.
- [29] Gonzalez, Rafael C, and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," Cuarta edición, New York, NY: Pearson, [2018]

ANEXOS

Anexo 1 de reconocimiento de tomates

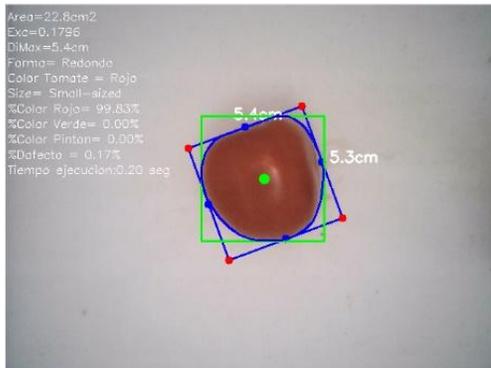


Fig. A-1. Tomate No1 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

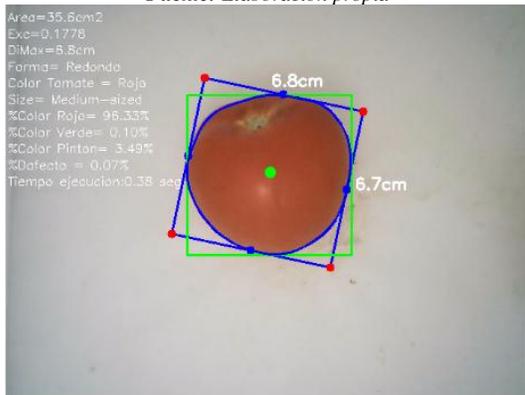


Fig. A-2. Tomate No2 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

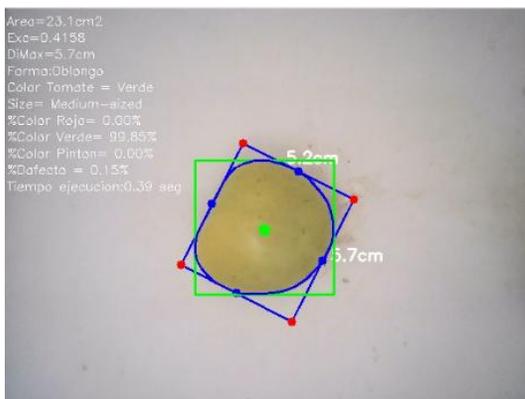


Fig. A-3. Tomate No3 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

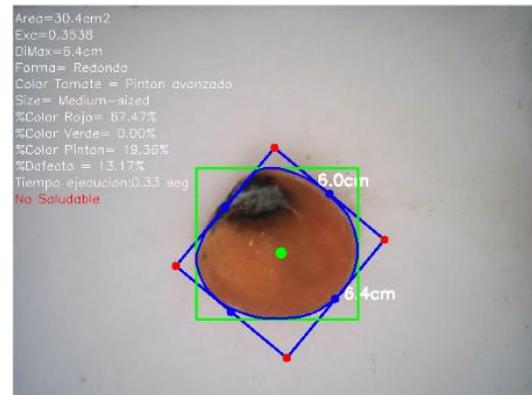


Fig. A-4. Tomate No4 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

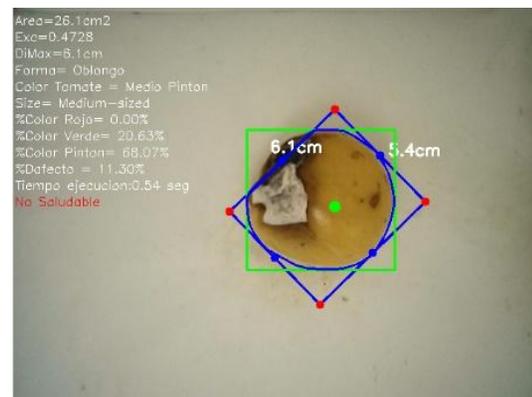


Fig. A-5. Tomate No5 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

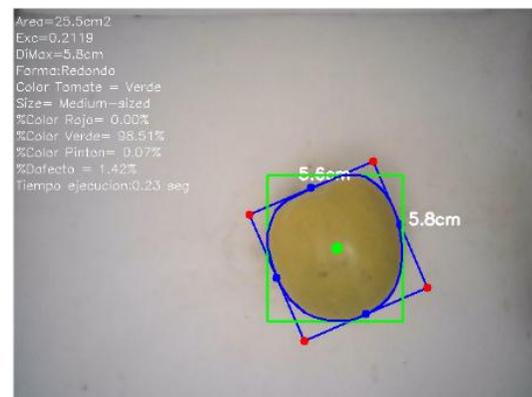


Fig. A-6. Tomate No6 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

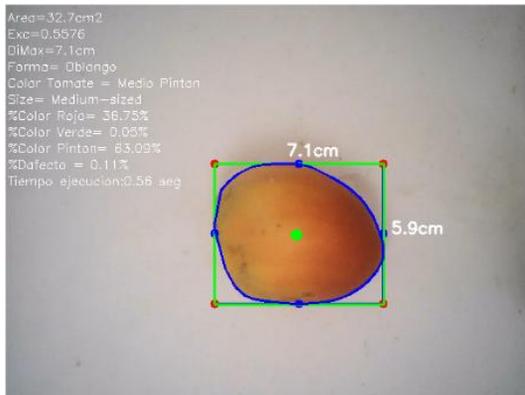


Fig. A-7. Tomate No7 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

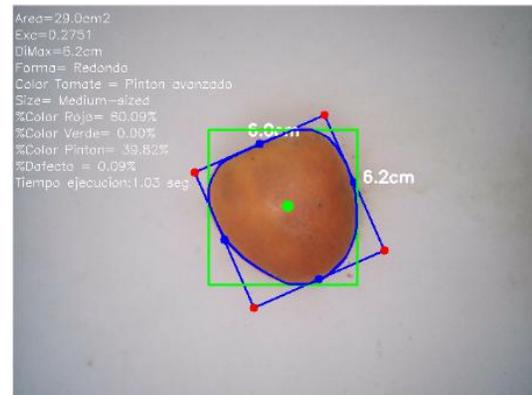


Fig. A-10. Tomate No10 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

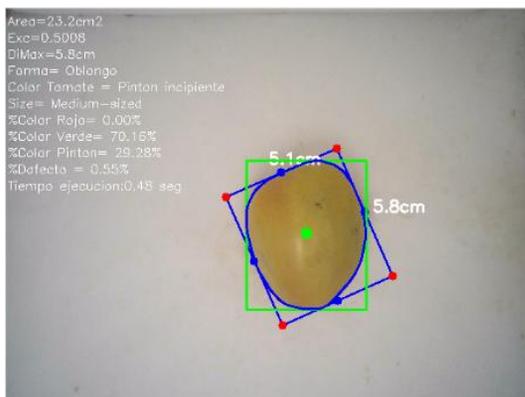


Fig. A-8. Tomate No8 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

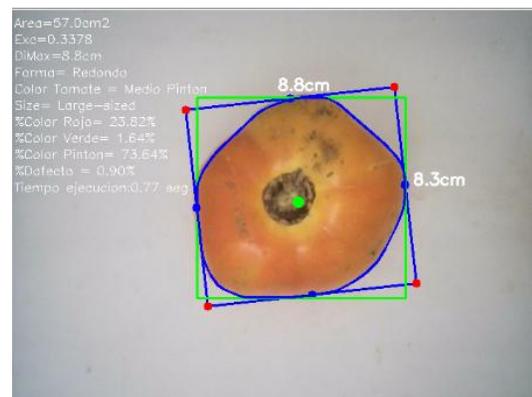


Fig. A-11. Tomate No11 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

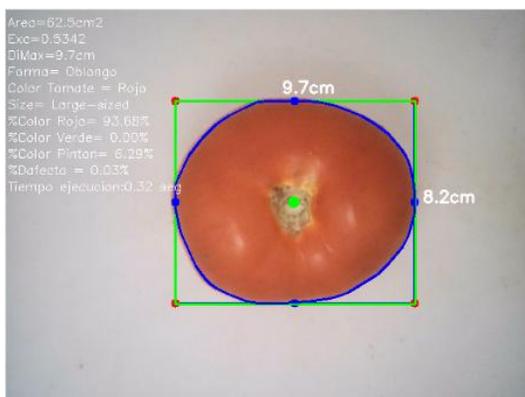


Fig. A-9. Tomate No9 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

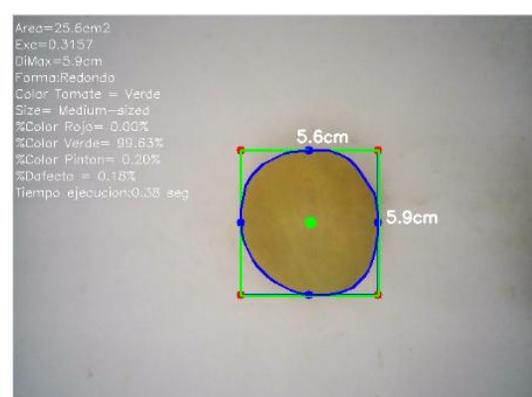


Fig. A-12. Tomate No12 procesado por el algoritmo.
 Fuente: Elaboración propia

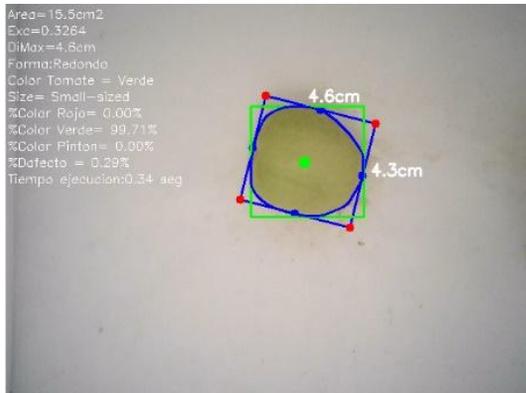


Fig. A-13. Tomate No13 procesado por el algoritmo.
Fuente: Elaboración propia

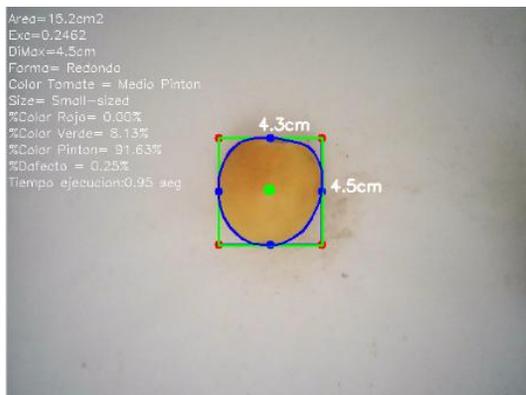


Fig. A-14. Tomate No14 procesado por el algoritmo.
Fuente: Elaboración propia

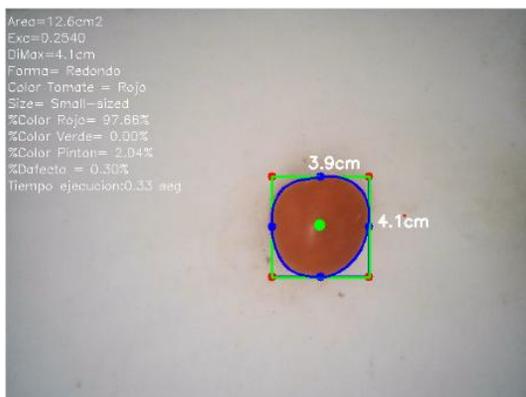


Fig. A-15. Tomate No15 procesado por el algoritmo.
Fuente: Elaboración propia