



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis



“Uso del Análisis Digital de Imagen como Herramienta de Medición de la Madurez del Aguacate Hass (*Persea americana mill*) de Teziutlán, Puebla.”

PRESENTA:

IDALIA FLORENTINO VEGA

CON NÚMERO DE CONTROL

17TE0553

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO

IIAL-2010-219

DIRECTOR (A) DE TESIS:

DRA. JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA

“La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, MAYO 2022



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Teziutlán, Puebla., el día 21 del mes de enero del año 2022, el (la) que suscribe **Idalia Florentino Vega** alumno (a) de la carrera de **Ingeniería en Industrias Alimentarias** con número de control **17TE0553**, adscrito al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis de licenciatura bajo la dirección de la **Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa** ceden los derechos del trabajo titulado. **“Uso del Análisis Digital de Imagen como Herramienta de Medición de la Madurez del Aguacate Hass (Persea americana mil) de Teziutlán, Puebla”**, al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y a los directores del proyecto para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director (es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: julieta.ve@teziutlan.tecnm.mx; L17TE0553@teziutlan.tecnm.mx ; si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Idalia Florentino Vega
Nombre y firma del alumno
(a)

Vo. B_o



Dra. Julieta del Carmen Villalobos
Espinosa
Director (a) de Tesis

Trabajo de Investigación Asociados

Florentino-Vega, Idalia; Villalobos-Espinosa, Julieta del Carmen; Cebada-Reyes, José Guillermo. (2022). Usos del Análisis Digital de Imagen como Herramienta de Medición de la Madurez del Aguacate Hass (*Persea americana*). Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA XIII. Cartel. (ANEXOS).

Florentino-Vega, Idalia; Villalobos-Espinosa, Julieta del Carmen; Cebada-Reyes, José Guillermo. (2021). Usos del Análisis Digital de Imagen como Herramienta de Medición de la Madurez del Aguacate Hass (*Persea americana*) de la región VI del estado de Puebla. Primer Lugar en el Segundo Encuentro Estatal de Jóvenes Investigadores 2021: Modalidad Virtual. Área: Ciencias de Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas. (ANEXOS).

Agradecimientos

En primera instancia agradezco a mis formadores educativos las cuales trabajaron por ayudarme a llegar hasta el punto en donde me encuentro.

Agradezco al Tecnológico Superior de Teziutlán por dejarme pertenecer al área de Industrias Alimentarias, para poder estudiar mi carrera y desarrollar mis aptitudes, así como también agradecer a los docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día durante toda mi carrera como estudiante.

El proceso no ha sido sencillo, pero agradezco a mis asesores Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa y al Dr. José Guillermo Cebada Reyes, que me han transmitido sus conocimientos y dedicación que los han regido, los cuales me han ayudado a lograr importantes objetivos como culminar mi residencia profesional, participar en el concurso Jóvenes Investigadores y crecer como estudiante en el área de investigación, asimismo como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante el proceso.

Finalmente agradezco a mi familia que me apoyo durante la carrera sin importar las condiciones que pasáramos, a mis amigos por ofrecerme su amistad y su apoyo moral cuando más lo necesitaba, a mis compañeros de clase que aportaron conocimientos y a mis mascotas que sin importar la hora de estudio estuvieron conmigo.

Resumen

La maduración de los frutos climatéricos como el aguacate Hass (*Persea americana mill*) puede producir cambios notables en su color y textura, lo que resulta en un rechazo directo por parte del consumidor. Por otra parte, su selección y clasificación se realiza de manera visual, lo que lo convierte en una selección subjetiva. El objetivo del presente trabajo es utilizar el análisis digital de imagen para el estudio de la textura de imagen de la cáscara del aguacate Hass y evaluar los cambios microestructurales sufridos por el fruto climatérico durante su almacenamiento y correlacionarlos con el proceso de maduración. Los resultados mostraron que el fruto es de calibre E de acuerdo a la NMX-FF-016-SCFI-2016. Las dimensiones de los frutos se ven afectadas a partir del día 8 ($p \leq 0.05$). Las imágenes analizadas mostraron que el fruto presenta cambios estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) en entropía y diferencia de momentos inverso a partir del día 2 para las muestras almacenadas a temperatura ambiente ($26.20 \pm 2.59^\circ\text{C}$). Se puede concluir que el uso del análisis digital de imagen es una herramienta no invasiva, viable para la caracterización del aguacate Hass (*Persea americana mill*) de la región VI del estado de Puebla.

Palabras clave: Análisis digital de imagen; Textura; Fractalidad; Aguacate Hass.

Abstract

The ripening of climacteric fruits such as Hass avocado (*Persea americana mill*) can produce noticeable changes in color and texture, resulting in a direct rejection by the consumer. On the other hand, its selection and classification is done visually, which makes it a subjective selection. The objective of the present work is to use digital image analysis to study the texture image of the Hass avocado peel and to evaluate the microstructural changes suffered by the climacteric fruit during storage and correlate them with the ripening process. The results showed that the fruit is of size E according to NMX-FF-016-SCFI-2016. Fruit dimensions are affected from day 8 ($p \leq 0.05$). The analyzed images showed that the fruit presents statistically significant changes ($p \leq 0.05$) in entropy and inverse moment difference from day 2 for samples stored at room temperature ($26.20 \pm 2.59^\circ\text{C}$). It can be concluded that the use of digital image analysis is a non-invasive, viable tool for the characterization of Hass avocado (*Persea americana mill*) from region VI of the state of Puebla.

Keywords: Digital image analysis; Texture; Fractality; Hass avocado.

Introducción

México es uno de los países con mayor diversidad en variedades de aguacate, cuenta por lo menos con 20 especies diferentes, entre las que se encuentran: *Persea drymifolia*, *Persea nubigena* var. *Guatemalensis*, *Persea americana* mill, *Ettinger*, *Rincón*, *Gema*, *Choquette*, *Pinkerton*, *Gwen*, *Reed*, *Lamb hass Criollo raza mexicana*. La riqueza con la que cuenta el aguacate es valorada y conservada para la producción (Lozano Hernández, 2015), además México es uno de los principales países consumidores de aguacate en el mundo (Velásquez et al., 2018). La producción en México procede principalmente de Michoacán, Jalisco, Morelos, Nayarit, Guerrero, Veracruz y Puebla.

Dentro de la regionalización del estado de Puebla, la región VI está conformada de 12 municipios: Acateno, Atempán, Ayotoxco de Guerrero, Chignautla, Hueyapan, Hueytamalco, Tenampulco, Tételes de Ávila, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Xiutetelco y Yaonáhuac, de los cuales, Hueyapan, Tételes de Ávila Castillo, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Xiutetelco y Yaonáhuac son los principales productores de aguacate de la región con una producción de 900 a 1080 toneladas anuales (CEDRSSA, 2019). Estos municipios se caracterizan por presentar una alta demanda de aguacate Hass (*Persea americana* mill), sin embargo, durante su venta o distribución se generan enormes pérdidas debido al inadecuado manejo pos-cosecha, esto no solo genera disminución de ingresos para los proveedores y/o productores, sino que también, produce residuos sólidos urbanos, que provocan problemas ambientales como la contaminación del suelo, agua y la propagación de fauna nociva.

Es común que la valoración de este fruto se realice únicamente de forma visual, convirtiéndose en una práctica común entre la población dejando su selección y clasificación a una técnica subjetiva o no cuantificable; lo que consume mucho tiempo y lo convierte en un proceso tedioso. Dentro de la industria agroalimentaria existen equipos que permiten la medición de diversos parámetros para la selección

y clasificación del aguacate tales como el peso, color, textura, entre otros. No obstante, suelen ser técnicas invasivas que realizan mediciones puntuales o resultan en la pérdida completa de la muestra analizada (Arzate Vazquez, 2011). Los cambios físicos producidos por un inadecuado manejo pos-cosecha, puede ocasionar el rechazo por parte del consumidor y con ello verse afectada directamente la economía de los productores y/o proveedores. Por lo que, poder identificar la calidad y vida útil del fruto mediante una técnica de medición no invasiva como lo es el análisis digital de imagen (ADI) sería una opción viable para la selección y clasificación de los productos pos-cosecha como lo es el aguacate Hass (*Persea americana Mill*).

Por todo lo anterior, el presente trabajo propone el uso del análisis digital de imagen como herramienta de caracterización, que permita la obtención de datos cualitativos, como lo es el color y textura de imagen; mediante el desarrollo de una metodología que permita la obtención de los parámetros de interés en condiciones adecuadas.

Glosario de abreviaturas

ADI: Análisis Digital de Imagen.

ANOVA: Análisis de Varianza.

CEDRSSA: Centro de Estudio para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.

DF: Dimensión Fractal de Textura.

DMI: Diferencia de momento inverso.

GLCM: Algoritmo de Matriz de Co-ocurrencia de Escala de Grises.

SAGARPA: secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. SMA: Segundo Momento Angular

SBDC: Algoritmo de Conteo de Cajas de Desplazamiento Diferencial.

Índice

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
Glosario de abreviaturas.....	6
Capítulo I	10
Generalidades del proyecto	10
1.1 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante.....	11
1.2 Problema de investigación a resolver.	13
1.3 Preguntas de investigación	14
1.4 Objetivo general	14
1.5 Objetivos específicos	14
1.6 Justificación de la investigación	15
Capítulo II	16
Marco teórico.....	16
2.1 Fundamentos teóricos	17
2.1.1 Frutos Climatéricos y no Climatéricos.....	17
2.1.2 Frutos climatéricos	17
2.1.3 Frutos no climatéricos	18
2.1.4 Mecanismos de respiración.....	18
2.2 Aguacate Hass (<i>Persea americana mill</i>).....	19
2.2.1 Historia	19
2.2.2 Taxonomía	20
2.2.3 Características botánicas	20
2.2.4 Cosecha	22
2.2.5 Pos-cosecha.....	22
2.2.6 Métodos de Caracterización de la Madurez del Aguacate Hass.....	23
2.2.7 pH	24
2.2.8 Sólidos solubles (°Bx)	24
2.3 Adquisición de imagen	24
2.3.1 Historia.....	24
2.3.2 Análisis digital de imágenes.....	25
2.3.3 Etapas de la Técnica para el Procesamiento de Imágenes.....	25

2.4 Análisis Digital de Imagen (ADI)_Color.....	26
2.4.1 Historia	26
2.4.2 Color	27
2.4.3 Colorimetría.....	30
2.5 ADI TEXTURA	36
2.5.1 Matriz de Co-Ocurrencia en Escala de Grises (GLCM).....	36
2.5.2 Algoritmo Modificado de Conteo Diferencial de Cajas (SDBC).	37
Capítulo III.....	40
Desarrollo y metodología	40
3.1 Alcance y enfoque de la investigación	41
3.2 Hipótesis.....	41
3.3 Diseño y metodología de la investigación	41
3.3.1 Materiales y Métodos.....	42
3.3.2 Métodos	42
3.3.2.1 Caracterización físico-química del aguacate hass	43
3.3.2.2 Cinética de maduración	43
3.3.2.3 Adquisición de imagen	44
3.3.2.4 Análisis de textura de imagen	45
3.3.2.5 Procesamiento de imagen	46
3.3.2.6 Sólidos solubles.....	47
3.3.2.7 Potencial de hidrogeno (pH).....	47
3.3.2.8 Análisis estadístico	47
3.4 Selección de la muestra	47
3.5 Recolección de datos.....	47
3.5.1 Selección del instrumento.....	48
3.5.2 Aplicación del instrumento.....	48
3.5.3 Preparación de datos	49
3.6 Análisis de datos	49
Capítulo IV Resultados.....	50
4.1 Resultados/Discusión de resultados.....	51
4.1.1 Resultados de análisis físico-químicos.....	57
Capítulo V	59
Conclusiones	59
5.1 Conclusiones del proyecto	60
5.2 Conclusiones relativas a los objetivos específicos.....	60

5.3 Conclusiones relativas al objetivo general	60
5.4 Limitaciones del modelo planteado.....	61
5.5 Recomendaciones	61
Capítulo VI	62
Competencias desarrolladas.....	62
6.1 Competencias desarrolladas y/o aplicadas	63
Capítulo VII.....	64
Fuentes de información	64
7.1 Fuentes de Información	65
Capítulo VIII.....	71
Anexos.....	71
8.1 Anexos.....	72
Índice de figuras	75
Índice de tablas.....	76

Capítulo I

Generalidades del proyecto

1.1 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante

El 8 de noviembre de 1994 con la publicación del Decreto del Congreso del Estado que expide la ley se crea el "Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán", como Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

El día 22 de abril de 1998 fue nombrado oficialmente el Ing. Alberto Sánchez Serrano como nuevo director del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, iniciando una nueva etapa en la vida de esta institución trayendo consigo cambios sustanciales tales como: impulso y mejoramiento en el aspecto académico del Instituto. Mejoramiento a sistemas de control en el área administrativa, realización de gestiones permanentes para la construcción y equipamiento del centro de cómputo, así como de dos edificios más, mejoras en la infraestructura física (interior y exterior), creación de nuevas carreras, realización de convenios para estudios de posgrado e investigación, proyección del Instituto hacia el sector productivo, industrial y social.

El instituto asume el compromiso de certificarse a través de la Norma ISO 9001-2008 y es en el mes de abril del año 2006 cuando esta casa de estudios recibe orgullosamente y además con distinción, la certificación por parte de la empresa QMI-SAIGLOBAL, quien la certifica como una Institución de Calidad en su proceso de Enseñanza – Aprendizaje.

Poco a poco en el Instituto se va consolidando una nueva filosofía, su deseo de trascender se convierte en una mentalidad ya constante, dando como resultado que el 1 de Noviembre del 2006, estando al frente de la institución el Mtro. Gustavo Urbano Juárez, se logra la Acreditación de la carrera de Informática por parte del CONAIC, Acreditación del Programa de la Licenciatura en Administración por parte de CACECA (Consejo de acreditación para la Enseñanza de la Contaduría y Administración) en el año 2008, Acreditación del Programa de la Licenciatura en Ingeniería Industrial por parte de CACEI (Consejo de Acreditación de la Enseñanza

de la Ingeniería) en el año 2009, Acreditación del Programa de la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Computacionales por parte del CONAIC (Consejo Nacional de Acreditación en Informática y Computación) en el año 2010, Certificación del Sistema de Gestión Ambiental bajo la Norma ISO-14001:2004, por QMI – SAIGLOBAL, Reconocimiento SEP Federal a la Calidad Educativa por lograr el 100% de la matrícula con Programas Acreditados, para el año 2010, Aprobación del Programa de Protección Civil a nivel Estatal, para el período 2010 – 2011.

Para el 30 de agosto de 2018, toma el cargo de la Dirección General la Mtra. Arminda Juárez Arroyo, como consecuencia de lo anterior, y con la finalidad de hacer congruente el desarrollo, integral del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán dentro del proceso educativo, se generó su estructura orgánica que condujo a la expedición de su Reglamento interior.

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, atento a las demandas de la sociedad, y a los principios de la Ley de Educación del Estado de Puebla, se consolida como una Institución cuyo objetivo es lograr una educación de calidad, moderna y eficaz, orientada al servicio, acercándola a las necesidades e intereses de la población, que promueva el uso transparente y eficiente de los recursos humanos, materiales y financieros de que disponga, y que cumpla puntualmente con sus programas de trabajo. Las carreras que se ofrecen actualmente en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán son:

- Ingeniería en Gestión Empresarial.
- Ingeniería en Industrias Alimentarias.
- Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- Ingeniería Industrial.
- Ingeniería Informática.
- Ingeniería Mecatrónica.

1.2 Problema de investigación a resolver.

En la actualidad, el comercio de la agricultura es una de las actividades más importantes dentro de la sociedad, debido a que es una de las principales fuentes de la economía en la región y un medio por el cual, las personas pueden estar en contacto social y culturalmente.

En el estado de Puebla, cada municipio es generador de una gran variedad de productos agrícolas dentro de los cuales, se encuentra el aguacate Hass (*Persea americana mill*), el cual representa 52.4 hectáreas de pérdidas anuales, debido al mal manejo del mismo. Las enfermedades en la planta (raíz, ramas y hojas) y plagas son una complicación más al productor, por otra parte, la falta de conocimientos como la errónea aplicación de las técnicas de corte, el no saber el momento preciso de recolecta de acuerdo a su tonalidad, mal almacenamiento y distribución causan mayores pérdidas; así como encontrar alternativas para darle vida útil al fruto aun cuando este ya este maduro.

Por lo anterior, el presente proyecto, propone implementar el uso del análisis digital de imagen en aguacate Hass (*Persea americana mill*) como herramienta de medición de madurez; lo que permitirá evitar pérdidas del fruto y obteniendo datos cuantitativos que proporcione un control en cuanto a aspectos de calidad.

1.3 Preguntas de investigación

¿Cuál es la característica principal que se pierde durante el proceso de maduración del aguacate Hass (*Persea americana mill*)?

¿El uso del análisis digital de imagen (ADI) permitirá obtener datos cuantificables sobre las características (color, textura) del fruto permitiendo así su caracterización?

¿Cuál es el principal problema que hace que los aguacates no tengan las características de calidad?

¿Cuáles son las necesidades a satisfacer en los productores de aguacate Hass (*Persea americana mill*) para implementar el uso del ADI?

1.4 Objetivo general

Evaluar el uso del análisis digital de imagen como herramienta de medición de madurez del aguacate Hass (*Persea americana mill*) de la región VI del Estado de Puebla.

1.5 Objetivos específicos

- Desarrollar una cinética de maduración del Aguacate Hass a temperatura ambiente (26.20 ± 2.59 °C) y temperatura de refrigeración (19.20 ± 2.16 °C).
- Obtener las imágenes del aguacate Hass (0, 2, 4, 6, 8, 10 días) mediante una cámara semi-profesional y un microscopio digital.
- Evaluar la viabilidad del uso de ADI mediante el estudio de las imágenes adquiridas (DF, circularidad, textura de imagen).
- Definir las características del prototipo que permita mantener las condiciones ideales para la captura de imagen del aguacate Hass en pos-cosecha.
- Identificar la correcta calibración del equipo mediante la toma de imágenes.

1.6 Justificación de la investigación

En la región de Teziutlán, la principal fuente de ingreso es el comercio al por menor (Data, 2021) por lo que las ventas sin local comercial como: tianguis, vendedores ambulantes, vendedores de campo (cambaceo), entre otros; son donde los productos agrícolas adquieren más ganancias, uno de los cultivos con mayor demanda es el aguacate, donde el color, aroma y la madurez son atributos de calidad.

El exceso de manipulación; como no seguir las prácticas fitosanitarias necesarias generan pérdidas del fruto, los municipios de la región VI del estado de Puebla(SIAP, 2020) anualmente siembran 175.4 hectáreas, de las cuales 123 son cosechadas, dejando una pérdida de 52.4 hectáreas. Lo que ha llevado a la necesidad de implementar nuevas metodologías no invasivas en el campo de cultivo, para mejorar la calidad del aguacate Hass y evitar desperdicios innecesarios por pérdida del producto.

El análisis digital de imagen y la determinación de color de manera correcta permitirá que se tenga el conocimiento previo para realizar el corte de aguacate, permitiendo obtener datos cuantitativos que brinden información para una mejor distribución del fruto, llegando al destino con las características de calidad deseadas.

El motivo principal objetivo de la presente investigación, es estandarizar la metodología para la determinación de parámetros (color y textura) utilizando el análisis digital de imagen en el aguacate Hass (*Persea americana mill*) de la región VI del estado de Puebla.

Capítulo II

Marco teórico

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Frutos Climatéricos y no Climatéricos.

Los atributos de calidad como firmeza, color, sabor y textura van de la mano con el del proceso de maduración, puesto que el uso y la aplicación de nuevas tecnologías ayuda a mantener la calidad de un fruto, asimismo adquirir el conocimiento de la estructura, la fisiología y las transformaciones metabólicas. Los frutos son definidos fisiológicamente con base a la presencia (climatéricos) o ausencia (no climatéricos) de un aumento en la respiración (Figura 1) y en la síntesis de etileno al comienzo de la madurez de consumo (Info Agrónomo, 2020)

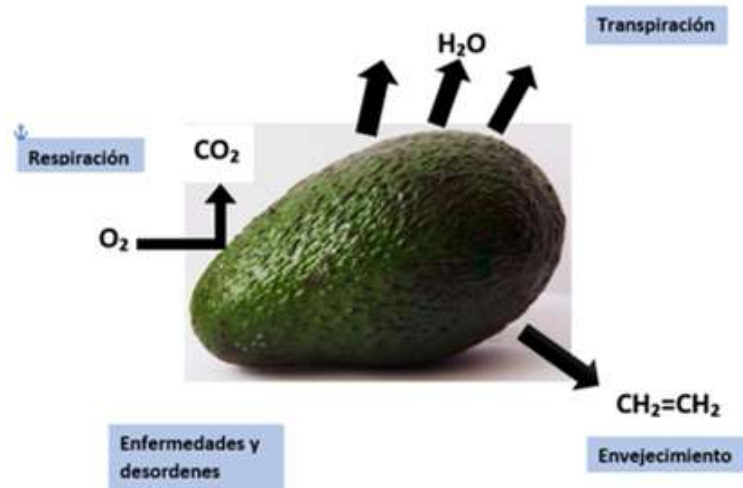
Los frutos climatéricos y no climatéricos están clasificados de acuerdo al patrón respiratorio y producción de etileno que tienen durante su etapa temprana de maduración.

2.1.2 Frutos climatéricos

Los frutos climatéricos son los que pueden madurar no sólo adheridos a la planta, sino también después de la cosecha, cuando son cortados en la etapa pre climatérica, como el tomate (*Solanum lycopersicum*), la manzana (*Malus domestica*) y el plátano (*Musa* spp.), estos frutos alcanzan más pronto la senescencia ya que la respiración es acompañada por un aumento en los niveles de etileno, que coordina y sincroniza el proceso de maduración (Martínez-González et al., 2017).

Figura 1.

Mecanismo de respiración de los frutos climatéricos y no climatéricos.



Fuente: Florentino I, 2022

2.1.3 Frutos no climatéricos

Los frutos no climatéricos como la fresa (*Fragaria spp.*), la uva (*Vitis vinifera L.*) y los cítricos, solo consiguen la maduración cuando aún están unidos a la planta, ya que no presentan un aumento en la respiración y en la producción de etileno después de la cosecha.

Los frutos no climatéricos no desarrollan los patrones climatéricos como el aumento en la respiración, biosíntesis de etileno y respuesta auto catalítica al etileno, muestran algunas respuestas típicas al etileno como desverdizado (cambios en la coloración de verde a amarillo o anaranjado y ablandamiento) (Obando Ulloa et al., 2008).

2.1.4 Mecanismos de respiración

El crecimiento y maduración de los frutos se asocia con la intensidad respiratoria de forma esquemática por lo que el proceso de respiración implica variedad de reacciones metabólicas, el cual comenzando a nivel de las hojas estas captan energía solar y a través de la fotosíntesis almacena compuestos orgánicos.

La respiración aerobia, es el proceso en el que los materiales orgánicos almacenados, los carbohidratos, ácidos orgánicos y grasas son degradados oxidativamente hasta moléculas más simples (CO₂ y agua) con liberación de energía (ATP y calor) (Mangaraj, s. and Goswami, 2011). Mientras que la glucólisis, el ciclo de los ácidos tricarbónicos (ciclo de Krebs) y la cadena de transporte de electrones son las rutas metabólicas de la respiración aerobia (Torrieri, E., Perone, N. , Cavella, S. and Masi, 2010).

Los productos hortofrutícolas son seres vivos, los cuales al llegar a su madurez son cosechados y siguen su proceso de envejecimiento y mueren. El aguacate Hass tiene una tasa alta de respiración por la división celular y el aumento de la biosíntesis de etileno autocatalítico después de la cosecha, lo que coincide con la maduración y dificulta la conservación y comercialización en mercados distantes por que disminuye la calidad, vida de anaquel y valor comercial

2.2. Aguacate Hass (*Persea americana mill*).

2.2.1 Historia

El aguacate es originario de las regiones tropicales y subtropicales de Centroamérica y México. Desde los tiempos precolombinos esta fruta era consumida por las poblaciones indígenas, dando importancia tanto para las civilizaciones Mayas y Aztecas. Fue introducido por los españoles en las Antillas, después se extendió a Florida, California y a países sudamericanos, donde se realizaron mejoras genéticas en factores agronómicos como de calidad, se dispersó en regiones del mundo en donde existían las condiciones ecológicas para el desarrollo (Garbanzo Solís, 2011). En la Tabla 1 se muestra la taxonomía del aguacate Hass (*Persea americana mill*).

2.2.2 Taxonomía

Tabla 1.

Taxonomía del aguacate Hass (Persea americana mill)

Reino	<i>Vegetal</i>
División	<i>Spermatophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiosperma</i>
Clase	<i>Dicotiledónea</i>
Subclase	<i>Dipétala</i>
Orden	<i>Ranales</i>
Familia	<i>Lauraceae</i>
Género	<i>Persea</i>
Especie	<i>Persea Americana Mill</i>

(Mejia Vélez, 2011)

2.2.3 Características botánicas

El árbol de aguacate es un cultivo perenne debido a que se cultiva durante todo el año (Figura 2) puede alcanzar una altura de hasta 20 metros; sin embargo, en plantaciones comerciales, no se deja crecer más de 5 m, para facilitar las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. Esta especie es de tronco grueso, hojas alargadas y con varias ramificaciones que forman un follaje denso (Pérez Álvarez et al., 2015).

Figura 2.

Aguacate Hass (Persea americana mill).



Fuente: Florentino I ,2021.

El cultivo de aguacate Hass es significativo en el comercio y tiene notoriedad en el mercado internacional por las siguientes razones:

- Calidad en pulpa, hueso pequeño y alto contenido de aceite.
- Tiene resistencia al manejo pos-cosecha y transportación.
- Su periodo de floración es amplio, no madura hasta su cosecha, lo que permite a los productores planear su cosecha de acuerdo a las condiciones del mercado.
- Es la variedad que se adoptó a desarrollo precocidad, resistencia de plagas y enfermedades.

Es una drupa, en forma de pera de color verde claro a verde oscuro, cuando está maduro, su cascara adquiere una tonalidad oscura y su piel pasa de verde oscuro a verde purpurino. Tiene un sabor a nuez y avellana con textura suave, cremosa y contiene una semilla de tamaños pequeño a mediano y se produce todo el año (CEDRSSA, 2017).

2.2.4 Cosecha

En la norma mexicana NMX-FF-016-SCFI-2016 se establecen los requisitos mínimos que debe cumplir el aguacate Hass para poder ser cosecha.

Recomendaciones para realizar la cosecha

- No utilizar ningún tipo de pesticidas sistémicos un mes antes de la cosecha.
- Esterilizar las herramientas y equipos a usar en la cosecha.
- No golpear ni dañar la fruta.
- Retirar las frutas obtenidas por la colecta del suelo y dañadas en el momento de cosecha.
- Cortar parte del pedúnculo de 3-4 mm para evitar roce y ralladuras entre frutos.
- Usar escaleras y cortar con tijeras de podar afiladas u otras herramientas para, evitar la caída del fruto.
- Vaciar cuidadosamente y a mínima altura para proteger los frutos cargados en el bolso colector.
- Utilizar el 70% de la capacidad de la jaba plástica y usar material limpio en la parte inferior, para evitar daños por impacto y peso excesivo.
- Recolectar en las primeras horas de la mañana, para evitar estrés y deshidratación.
- Una vez las frutas están colectadas en jabas plásticas estas deben protegerse contra los rayos solares y lluvia, colocándose bajo sombra de árboles y con lonas.

2.2.5 Pos-cosecha

La pos-cosecha es la fase final del cultivo de aguacate e inicio de una nueva fase para su comercialización (Álvarez Córdova, 2018). En las pos-cosecha se traslada el aguacate en remolque sellados a la empacadora donde se descarga en el área de acopio y se deja reposar por 12 horas, lo que disminuye la temperatura del fruto, posterior a esto se realiza la selección comenzando con el vaciado de los frutos en

las bandas y rodillos que los llevan al cepillado, seguido de la selección manual donde se descarta los frutos que tengan un daño visible, los productos sanos siguen su proceso en la etiquetadora y pasa a la seleccionadora por calibre para después pasar al empaçado donde se realiza la última inspección para ser empaçados.

Los pallets pasan a cuartos refrigerados pasan por un proceso de pre-enfriamiento para después pasar a la cámara de conservación donde permanece hasta que estos sean cargados al medio de transporte donde se esperan entre 12 y 48 horas para completar el embarque (NMX-FF-016-SCFI-2016, 2016). La temperatura de conservación va de 5.5 a 6.5 °C con 90-95% de humedad relativa.

Puebla actualmente es el séptimo productor de aguacate en México, con un volumen de 16 mil 842 toneladas. Entre 2012-2018, la producción de aguacate en Puebla se incrementó en 40.2 por ciento (Union Puebla, 2019). En cuanto a la exportación del aguacate poblano en 2018, el gobierno estatal de Puebla firmo un convenio de agricultura por contrato entre la empresa Trudeau Farms y productores de aguacate Hass de la zona, por lo que por primera vez se exportara a Canadá 240 toneladas de la producción de aguacates cosechados en la entidad (Olguín, 2019).

2.2.6 Métodos de Caracterización de la Madurez del Aguacate Hass

En la industria alimentaria es importante la caracterización de productos de interés alimentario para poder darle una aplicación en la industria alimentaria para poder darle una aplicación en la industria alimentaria, así como para conservar su calidad. Por ello, es necesario realizar diversas técnicas de caracterización entre los que encontramos:

2.2.7 pH

Se considera una de las medidas más importantes utilizadas en la industria agroalimentaria la cual sirve para cuantificar la concentración de H_3O^+ , se relaciona con el contenido de ácidos presentes, la capacidad de proliferación microbiana en conservación ya que actuará como una barrera fisiológica natural frente a la acción microbiana (Grupo Cooperativo Cajamar, 2014).

2.2.8 Sólidos solubles (°Bx)

El contenido de sólidos solubles se determina con el índice de refracción, el cual se realiza por medio de refractómetros de una solución acuosa la cual contiene el producto analizado, con las condiciones necesarias (Cordero Contreras, 2018).

2.3 Adquisición de imagen

2.3.1 Historia

La primera manifestación de la adquisición de imagen que se ha reportado fue marcada en paredes rocosas con escenas de caza por los primitivos, esta siguió siendo importante durante el transcurso de la historia encontrándola en piedras enormes, figuras decoradas, huesos y cuernos (Alcaide & Arteaga Martín).

La Primera cámara fue utilizada por Aristóteles, usada para estudiar eclipses. En el siglo XVI Daniel Bárbaro añadió un lente a la cámara usando espejos para invertir la imagen, mientras que en el año 1802 Thomas Wedgwood experimento con nitrato de plata, para lograr fijar las imágenes de las cámaras oscuras, no fue hasta 1816 por Joseph Nicéphore que se descubre como fijar una imagen; también investigó los principios para crear un negativo (Martínez & Salanova). En 1924 se desarrolló la cámara, siendo la primera con 35mm en su tamaño, con lentes intercambiables y en 1980 surge la fotografía de manera digital (Saavedra Luna, 2003).

2.3.2 Análisis digital de imágenes

El análisis digital de imágenes (ADI) es una técnica no invasiva que permite la obtención de parámetros cuantitativos a partir de una imagen (Escalante Ramírez, 2006). Dentro de los parámetros que se pueden obtener a través del ADI son: área, perímetro, diámetro de Ferét, textura, lagunaridad, fractalidad, color, entre otros. Uno de los parámetros que pueden ayudar a la identificación de la calidad de un fruto climatérico.

2.3.3 Etapas de la Técnica para el Procesamiento de Imágenes

Según lo establecido por (Pedreschi et al., 2004) el procesamiento consiste en cinco etapas (Figura 3):

- Adquisición de las imágenes de manera digital.
- Pre-procesamiento para la mejora de imágenes con las mismas dimensiones de la imagen original
- Segmentación de imagen para dividir la imagen digital en regiones.
- Medición del objeto para medir las características de tamaño, forma, color y textura.
- Clasificación para identificar objetos y clasificarlos en grupos.

Figura 3.

Etapas del procesamiento de imagen.



Fuente: Florentino I, 2021

En la literatura se pueden encontrar diversas investigaciones que anteceden el presente proyecto (Khanitta, Ratprakhon Werner et al., 2020) realizaron el desarrollo de un procedimiento automático para determinar color y relacionarlo con la calidad del mango (*mangifera indica*) utilizando una cámara digital y estándares de color. (Cáez Ramírez et al., 2017) utilizaron el análisis digital de imágenes como una herramienta para monitorear los cambios de color en el corte fresco de papaya (*Carica papaya L.*). (Arzate Vazquez, 2011) utilizaron procesamiento de imágenes para la clasificación del aguacate Hass (*Persea americana Mill*) durante su proceso de maduración (Moreno Velázquez et al., 2017) utilizaron el procedimiento de medición de color en cascara de aguacate Hass (*Persea americana Mill*) durante el cambio de estado de maduración teniendo en cuenta las altitudes y temperaturas establecidas.

2.4 Análisis Digital de Imagen (ADI)_Color

2.4.1 Historia

A lo largo de la historia el uso y creación de color ha sido una técnica de estudio, así como la manera en la cual se mide. Físicos, filósofos y pintores han estudiado las diferentes formas de establecer un sistema ordenado de colores, por lo que cada autor a lo largo de la historia ha desarrollado modelos diferentes de color, dando explicación al fenómeno físico y químico (Rettig, 2014).

El sistema CIE y CIELAB desarrollado en 1913 está basado en función de los valores triestímulo, como respuesta de tres diferentes tipos de conos sensibles al color por el ojo humano (Hiller). Se caracterizan a los colores en función de una luminancia y dos coordenadas especificando, el punto de diagrama de cromaticidad distribuyendo alrededor del espacio el color (Gallardo Frade, 2015). Por otra parte, el sistema Ostwald está basado en el análisis de las curvas de reflectancia de los colores y se caracterizan los colores de las ondas de luz dominantes, pureza y luminancia con la asignación de cada tono, saturación y brillo (Herrera Mejia, 2015).

El sistema CIE y CIELAB desarrollado en 1913 está basado en función de los valores triestimulo, como respuesta de tres diferentes tipos de conos sensibles al color por el ojo humano (Hiller). Se caracterizan a los colores en función de una luminancia y dos coordenadas especificando, el punto de diagrama de cromaticidad distribuyendo alrededor del espacio el color (Gallardo Frade, 2015). Por otra parte, el sistema Ostwald está basado en el análisis de las curvas de reflectancia de los colores y se caracterizan los colores de las ondas de luz dominantes, pureza y luminancia con la asignación de cada tono, saturación y brillo (Herrera Mejia, 2015).

El Sistema NCS (Natural Color Sytem) según el scandinavian color institute, es el único sistema que describe los colores exactamente como los percibe el ojo humano, basado en las investigaciones del filósofo Karl Ewald Konstantin Hering, quien afirmo que el ojo percibe los colores a partir de un proceso de oposición de colores, agrupados en tres pares rojo- verde, amarillo- azul y blanco negro.

2.4.2 Color

El color es una propiedad de la materia, que está directamente relacionada con el espectro de la luz y por lo tanto puede medirse físicamente en términos de energía radiante, intensidad y por longitud de onda (Gallardo Frade, 2015).

El ojo humano solo puede percibir, cuando su energía corresponde a una longitud de onda que oscila entre 380 y 780 nm (Badui Dergal, 2006) por lo que se puede definir, que el ojo humano percibe sensaciones visuales por medio de la energía radiante generando la estimulación de la retina del ojo.

Los objetos absorben y reflejan la luz de maneras diferentes según sus propiedades físicas, tanto en la forma o la composición; ya que el color que se percibe de un objeto es el rayo de luz, que se rechaza lo que provocando rebotes con diferentes longitudes de onda, debido a la estructura de los ojos, si los rayos de luz atraviesan al objeto no será visible.

Para especificar el color percibido bajo un punto de vista subjetivo, se toman en cuenta los siguientes atributos del color (Guerrero, 2015):

Luminosidad (brillo): Este es un atributo de la sensación visual según en la cual una superficie parece emitir más o menos luz (puede o no ser más o menos luminosa o brillante).

Matiz (tono): Es la sensación visual que corresponde a las denominaciones de los colores como azul, verde, amarillo, rojo, etc. Lo que está relacionado con la longitud de onda o frecuencia dominante de las radiaciones visuales.

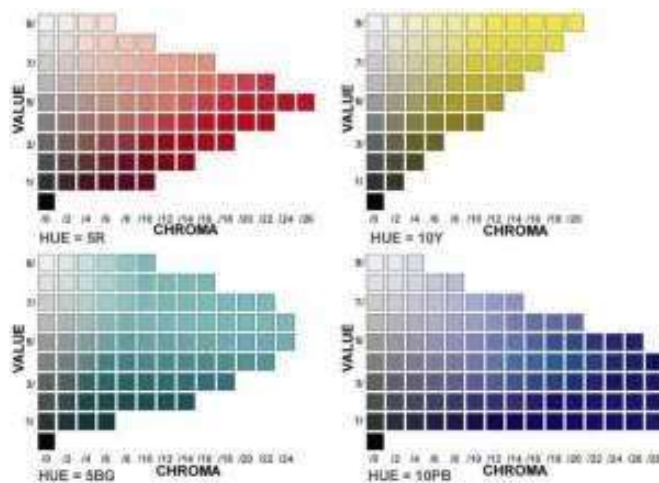
Saturación: Permite estimar la proporción de color cromático puro contenido en la sensación visual. Mientras que una saturación nula corresponde a la ausencia de color a un color acromático, teniendo en cuenta la escala de grises ya que esta posee una saturación nula (Ortiz Zamora, 2002).

En los alimentos como en el entorno, las mediciones del color son un factor determinante en los productos, ya que definen la calidad del alimento tomando en cuenta aspectos como color, forma, tamaño, entre otros. Para medir el color se puede realizar de forma visual o instrumental, equipos como el colorímetro utiliza la visión digital, mejorando así la comprensión y descripción de la imagen (De los Santos, 2011).

Las cartas de Munsell es uno de los primeros sistemas en medición de color, creado por Munsell en 1905 (Figura 4) en el cual se utilizan tarjetas de diferentes colores, se usan para patrones de comparación visual, que se pretende analizar. Las fichas contienen pequeños cuadros fichados y coloreados mediante escalas de tono, valor y saturación lo cual permite identificar un color bajo ciertas condiciones de iluminación, para un mejor uso se recomienda usarlas generalmente con un fondo de color gris neutro, para comparar el color de un objeto. Actualmente estas tarjetas se siguen usando para proyectos de subsuelos y clasificación de suelos (FAO, 2016)

Figura 4.

Cartas de color creadas por A.H. Munsell en 1905.

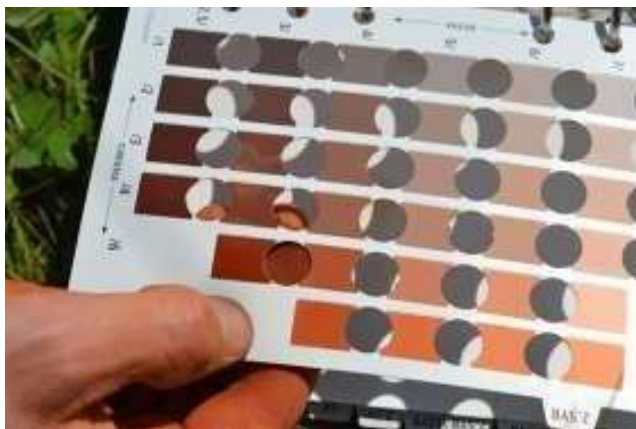


Fuente: Bitácora de color, 2013

Mientras que en 1915 cambio su diseño (Figura 5) en cuanto a las tarjetas ya que contenían escalas numéricas para los valores del color este método permite crear cualquier tono (De los Santos, 2011)

Figura 5

Tablas usadas actualmente para comparación de suelos agrícolas.



Fuente: PortalFruticola, 2016

2.4.3 Colorimetría

Técnica empleada en laboratorios de bioquímica, esta proporciona información cualitativa y cuantitativa principalmente sobre sustancias en disolución. El colorímetro es un instrumento el cual está diseñado para dirigir un haz de luz paralela monocromática, a través de una muestra líquida y medir la intensidad del haz luminoso procedente (Giovanni, 2017). Esta técnica está basada en medidas de la absorción de radiación, de la zona visible por sustancias coloreadas, por lo que ocasionalmente se necesita colorear muestras empleando reactivos. Los colorímetros se calibran de manera visual realizando comparaciones con una serie de discos coloreados (Figura 6) en su mayoría los resultados que se obtiene son subjetivos y no muy exactos.

Figura 6.

Calibración de colorímetro



Fuente: Kineret, 2016

Actualmente por los avances en la óptica y la informática han permitido aplicar la colorimetría tristímulo en imágenes digitales, obteniendo así información colorimétrica de cada píxel considerando la distribución de todos los píxeles que componen la muestra, (Tabla 2) esto permite que se pueda generar la comparación con el análisis visual permitiendo obtener parámetros que no podrían ser medidos por la colorimetría convencional (Rettig, 2014)

Una aplicación de la actual colorimetría se usa en la evaluación de la madurez de la uva y de su contribución a la estandarización del color en vinos tintos, por técnicas de análisis de imagen de igual manera aplicación de la colorimetría triestímulo al estudio del papel de los flavonoles en la copigmentación de antocianas (Rodríguez Pulido, 2013).

Tabla 2.

Antecedentes de mediciones de color en productos de interés alimentario y/o biotecnológicos.

Tipo de análisis de color	Producto/Característica que midió	Condiciones de medición	Resultados	Referencia
CIELAB	Papaya / maduración	Papaya hermafrodita en rodajas 65% y 85% maduras con 1mm de espesor, se simuló la temperatura de venta $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sin cadena de frío	Se detectaron cambios de color y firmeza del tejido después del tiempo de exposición al corte. Se mostraron coloraciones rojizas no homogéneas en las rodajas de papaya al estar a exposición del medio ambiente.	(Cáez Ramírez et al., 2017).

Análisis digital imagen	Patatas de clasificación	fritas/	Se siguieron dos pretratamientos blanqueadas y no blanqueadas en las rodajas las cuales tenían 2.5 cm de espesor y 37 mm de diámetro, con tres temperaturas (120°C, 150°C, 180°C).	En las imágenes las cuales fueron a escala de grises (Pedreschi et al., 2004). muestra que la textura de la superficie y el color de las patatas fritas depende de la temperatura y del pretratamiento recibido de las rodajas antes de freír.
Sistema CIE	Plátanos/etapas maduración	de	Se usaron plátanos distintos en cada etapa de maduración con maduradores comerciales	Se mostraron variaciones de color en el fruto en las diferentes etapas de maduración lo que permitió la clasificación de manera más fácil. (Mendoza & Agulera, 2003).

Fuente: Florentino I, 2021

Generalmente el color es una medida que se emplea para observar la calidad del alimento, por lo que existen diversas investigaciones referentes a la elaboración de prototipos (Tabla 3) y aplicaciones nuevas que permiten realizar la medición de color en diferentes alimentos como se muestra a continuación:

Tabla 3.
Antecedentes de prototipos para la medición de color.

Características del prototipo	Producto que evaluó	Condiciones de medición	Resultados	Referencia
<p>Sistema de adquisición de imágenes se ubica a de tal manera que forma un ángulo entre 0° y 180°</p> <p>Procesamiento de imágenes</p> <p>Mecanismo de desprendimiento</p> <p>Sistema de control</p> <p>Mecanismo de recepción Cuenta con dimensiones, que pueden ser definidas según se necesite, mientras que el sistema de adquisición ocupa un</p>	Café	Medio ambiente en climas calurosos y semihúmedos.	<p>Cuenta con un sistema de procesamiento de imagen para la cosecha selectiva de frutos de café, productos similares, teniendo como unidad mínima de observación el cultivo a nivel de rama y fruto, extraer de forma selectiva frutos maduros de una rama 10 frutos por segundo.</p> <p>Este equipo puede ser usado manual o automáticamente</p>	(Giraldo Ramos et al., 2015).

espacio volumétrico en forma de cubo, que tiene las dimensiones siguientes:

Largo entre 162 mm a 256 mm,
ancho entre 119 mm a 196 mm
y altura entre 88 mm a 150 mm

Carcasa transparente.

Acceso para el líquido.

Emisor de luz.

Sensor de color.

Unidad de alimentación.

Unidad de control para el procesamiento de las señales proporcionadas por el sensor del color y el almacenamiento de datos.

Pantalla de visualización de parámetros.

Líquidos

- Elimina la cuantificación subjetiva del color lo que aumenta a su vez (Gago Salvadó, 2010).
la resolución de la medida ya que no se basa en la comparación de unos pocos colores de referencia, lo que permite que tenga gran precisión, sin embargo, este método fotométrico requiere la utilización de dispositivos los cuales incorporan elementos ópticos, como la difracción, colimadores o filtros ópticos para longitud de onda específica lo que encarece el coste del equipo.

2.5 ADI TEXTURA

La textura de una imagen es una característica representada por el arreglo espacial de los niveles de grises de los píxeles de la imagen (Du Jin & Wen Sun, 2004). El análisis de texturas intenta cuantificar las cualidades intuitivas descritas por términos como áspero, suave, sedoso o accidentado en función de la variación espacial en las intensidades de píxeles. En este sentido, la rugosidad o bache se refiere a variaciones en los valores de intensidad, o niveles de grises (MathWorks, 2015).

El análisis de textura de imagen tiene como propósito medir de manera cuantitativa los cambios microestructurales de alimentos a partir de imágenes. La textura de una imagen ha sido utilizada para describir propiedades tales como regularidad u homogeneidad (Pedreschi et al., 2004).

Unos de los métodos para analizar la textura más empleados son el algoritmo de Matriz de Co-Ocurrencia en Escala de Grises (GLCM por sus siglas en inglés) y el algoritmo Modificado de Conteo Diferencial de Cajas (SDBC por sus siglas en inglés).

En la literatura se pueden encontrar diversas investigaciones (Tabla 4) que anteceden el uso del análisis de textura.

2.5.1 Matriz de Co-Ocurrencia en Escala de Grises (GLCM).

Las funciones GLCM caracterizan la textura de una imagen calculando la frecuencia con la que se producen pares de píxeles con valores específicos y en una relación espacial especificada en una imagen, creando y extrayendo medidas estadísticas de esta matriz. Es una matriz de frecuencias con la que un píxel con un nivel de gris aparece en una relación de espacio específica con otro píxel de nivel de gris.

Las matrices de concurrencia son medidas de segundo orden porque consideran parejas de píxeles vecinos, separados una distancia y en un determinado ángulo. Por tanto, las matrices de coocurrencia pueden revelar ciertas propiedades sobre la distribución espacial de los grises en la textura de la imagen (MathWorks, 2015; Ríos Díaz, José; Martínez Payá, Jacinto Javier; Baño Aledo, 2009).

Con este algoritmo, se pueden extraer varios parámetros de textura, algunos se relacionan con características como la homogeneidad, contraste y la presencia de estructuras organizadas dentro de la imagen. la homogeneidad, contraste y la presencia de estructuras organizadas dentro de la imagen.

Algunos de los parámetros de textura basados en este algoritmo son los siguientes según (Ranjit et al., 2016).

- **Energía (ASM, Angular Second Moment):** es una medida de la homogeneidad local de una imagen. Presenta altos valores cuando la frecuencia de aparición de las parejas de píxeles en la matriz de co-ocurrencia tiene la misma intensidad de nivel de gris.
- **Contraste (CON):** es una medida de la variación local del nivel de gris. Aumenta a medida que el nivel de gris de la pareja de píxeles se aleja hacia los extremos de la escala en una imagen de 8 bits.
- **Homogeneidad (IDM, Inverse Difference Moment):** medida de la diferencia en la intensidad de gris entre píxeles vecinos.
- **Entropía (ENT):** es una variable que está relacionada con el orden o desorden que tiene una imagen y es usada para caracterizar la textura de las imágenes. Imágenes complejas tendrán altos valores de entropía

2.5.2 Algoritmo Modificado de Conteo Diferencial de Cajas (SDBC).

El método de Conteo Diferencial de Cajas, consiste en la determinación de áreas de una imagen usando un algoritmo de geometría cuadrangular (caja o celda) de diferentes tamaños, con el cual se mide el perímetro o área que ocupa el objeto. Los valores obtenidos del número de cajas (N) contra el tamaño de la caja (r); se representa en un gráfico logarítmico, y la pendiente de este gráfico representa la dimensión fractal (Arzate Vazquez, 2011).

Tabla 4.

Antecedentes de investigación con análisis de textura.

Título del artículo	Producto que evaluó	Condiciones de medición	Resultados	Referencia
Image analysis as a monitoring tool in the dehydration of banana slices	Plátano	Se trabajó con Banana Tropical de origen ecuatoriano (Musa Cavendish). Fueron peladas y se seleccionó la parte central (descartando los extremos) y se cortaron en rebanadas de 3 mm de espesor. Las muestras se sumergieron en una solución con 10 g/L de ácido ascórbico y 10 g/L de ácido cítrico durante 1 minuto. Para el análisis de textura se analizaron 5 rodajas de la parte central de las bandejas, por cada lote a cada uno de los tiempos de secado.	El diámetro de Feret disminuyó con el tiempo y la estructura de la fruta cambió, el agua eliminada provocó el encogimiento de las rodajas durante el secado. Se modificó la textura superficial de la rodaja debido a la evaporación de agua, y la uniformidad textural comenzó a decaer. Con el análisis de imágenes se monitoreo la deshidratación de las rodajas hasta obtener valores en donde el producto llegó a su humedad de equilibrio.	(Sebastián Baima, José and Ribotta, 2019).
Evaluación del encogimiento y deformación de uvas durante su deshidratación por	Uvas	Se trabajó con uvas enteras (Vitis vinífera) las uvas fueron peladas manualmente y posteriormente fueron deshidratadas. Se utilizó un secador de lecho fluidizado experimental a escala de laboratorio. Las	Fue evidente la deformación y aparición de contornos irregulares de las muestras de uva, descrito mediante la dimensión fractal (DFNC). Los valores de la DFNC de las muestras de	(Santacruz Vázquez, V. Santacruz Vázquez et al., 2010).

fluidización usando el análisis fractal

variables de estudio fueron velocidad y temperatura del aire de secado con niveles 2, 3 y 4m/s y 60° y 70°C respectivamente. Las uvas, se deshidrataron con tres réplicas por cada condición estudiada.

uva mostraron un comportamiento cinético, los valores altos de DFNC se asociaron a contornos con mayor irregularidad y mayor deformación. Con el análisis de dimensión fractal ayudan a la caracterización de parámetros.

Identification and Classification of Fruit Diseases
Manzana, cítricos, guayaba, mango, papaya, plátano, uva, melocotón, granada y sandía. Así como 10 enfermedades de las frutas como pudrición amarga y antracnosis

Se realizó la adquisición de 243 imágenes de 10 tipos se realizó la segmentación de imágenes utilizando la técnica de agrupación de K-Means y C-Means y usando el algoritmo Matriz de Co-ocurrencia de Nivel de Gris (GLCM) extrae características de textura estadística.

La identificación y clasificación de enfermedades de la fruta se realizó utilizando 34 clases de 243 imágenes como un conjunto de datos. La solución propuesta puede identificar significativamente y clasificar las enfermedades de la fruta. (Ranjit et al., 2016).

Capítulo III

Desarrollo y metodología

3.1 Alcance y enfoque de la investigación

- Estandarización de la técnica del análisis digital de imagen en aguacate Hass (*Persea americana mill*).
- Automatización del proceso de selección y clasificación.
- Aplicar el estudio a otros frutos climatéricos de la región.

3.2 Hipótesis

El Análisis Digital de Imagen (ADI) del aguacate Hass (*Persea americana mill*), permite extraer parámetros cuantitativos que se relacionen con el proceso de maduración, lo que se reflejara en una menor pérdida del aguacate pos-cosecha e incrementa la calidad del aguacate Hass.

3.3 Diseño y metodología de la investigación

En el presente proyecto se llevó a cabo la investigación experimental, ya que se empleó un análisis de campo, así mismo se utilizó la documental para el desarrollo del proyecto.

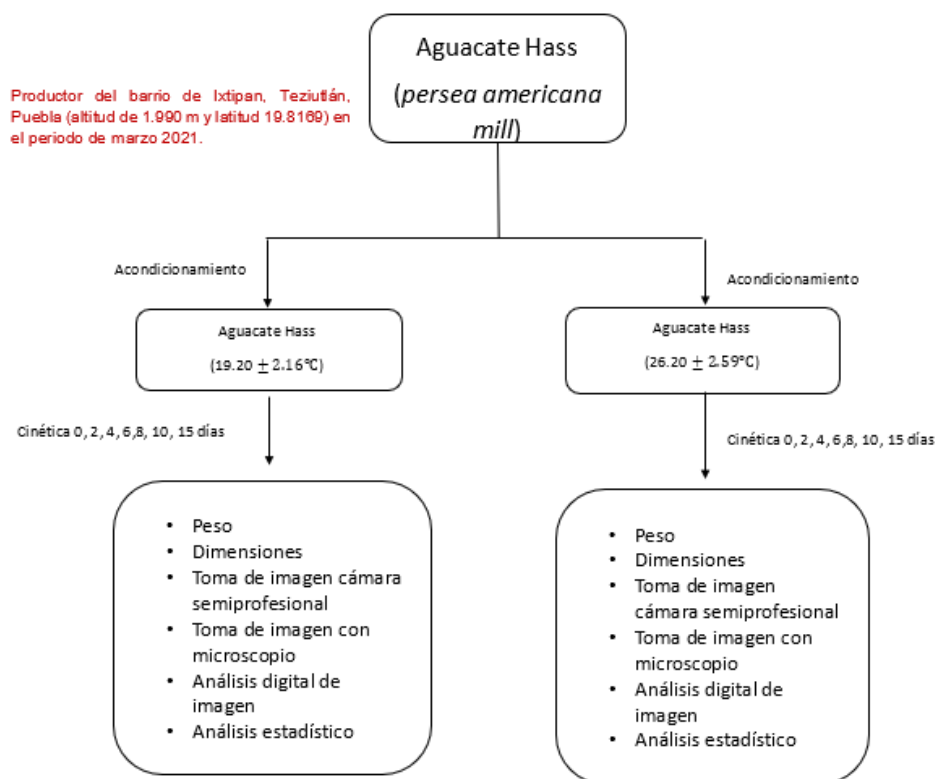
Experimental: El resultado de la información obtenida es por las actividades que se plantearon por el investigador, esto para observar los resultados. Los aguacates cosechados fueron sometidos a dos tipos de temperatura, para evaluar el cambio que sufre durante la cinética de maduración y como afecta su textura.

Documental: Se requirió de una búsqueda bibliográfica sustentada en diferentes fuentes como artículos científicos, revistas científicas, normas regulatorias, manuales y libros relacionado con calidad del aguacate Hass, calidad físico-química de la fruta, análisis de textura y análisis digital de imagen.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de trabajo (Figura 7), en donde se presenta la investigación que se llevó a cabo.

Figura 7.

Diagrama de flujo de trabajo.



Fuente: Florentino I, 2021

3.3.1 Materiales y Métodos

Para realizar la caracterización de madurez en los análisis, las muestras de aguacate Hass se tomaron al azar con una altitud de 1.990 m y latitud 19.8169 y se realizaron triplicado (Astudillo Ordóñez & Rodríguez, 2018).

3.3.2 Métodos

Para la evaluación de los parámetros físico-químicos se siguieron las metodologías del Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN) y de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC).

3.3.2.1 Caracterización físico-química del aguacate hass

Para la determinación de parámetros físicos peso y longitud se usaron 30 muestras de la fruta.

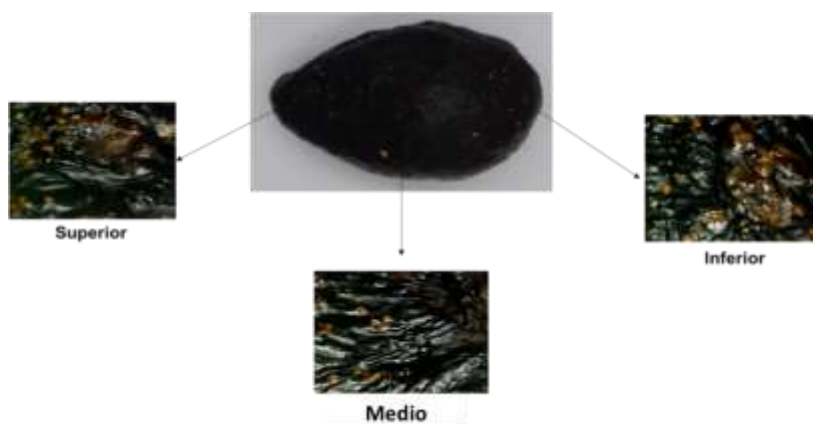
Para los parámetros físico-químicos sólidos solubles y pH se realizó con 3 diferentes frutos de 3 repeticiones, cada fruto se lavó, cortaron, despulparon y se homogeneizó la muestra con ayuda de un mortero y la centrifuga tomando porciones de 5 gramos por cada repetición.

3.3.2.2 Cinética de maduración

Se tomaron 20 frutos de manera aleatoria, de los cuales 10 se mantuvieron a temperatura ambiente (TA) ($26.20 \pm 2.59^{\circ}\text{C}$) y 10 a temperatura controlada de refrigeración (TR) ($19.20 \pm 2.16^{\circ}\text{C}$). La pérdida de peso de los aguacates durante la cinética de maduración fue evaluada con una balanza digital (MODELO Truper BASE-5EP/MEX). Mientras que, para las dimensiones se utilizó un vernier (PRETUL/MEX); estas mediciones se realizaron en la parte superior, medio e inferior del aguacate como se muestra en la Figura 8. Los aguacates fueron evaluados los días 0 (inicial), 2, 4, 6, 8 y 10.

Figura 8.

*Representación esquemática de la selección de imagen para el análisis digital de imagen en el aguacate Hass (*Persea americana* mill)*



Fuente: Villalobos J.C, 2021

3.3.2.3 Adquisición de imagen

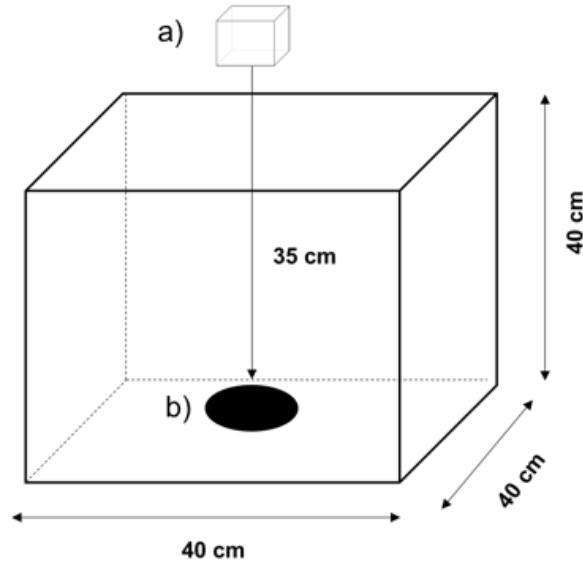
Para la adquisición de la imagen se utilizó una estructura de 40x40x40 cm con paredes negras opacas. En la parte superior de la estructura se colocó un tablero deluz de 64 LED (lamp beads), lo que proporcionó una luz suave y difusa, con el objetivo de realizar una toma precisa y sin sombras en la superficie del fruto como se muestra en la Figura 9. La luz incidente sobre la muestra fue controlada con un luxómetro (Modelo PM6612/USA) y se ajustó la intensidad y el brillo de forma gradual con una fuente de alimentación. La carcasa está formada por una placa de aluminio, lo que genera que se tenga una buena disipación del calor. Los parámetros utilizados fueron los establecidos por Pedreschi (Pedreschi et al., 2004).

Para la tomade imagen se utilizó una cámara digital semi-profesional Nikon (modelo D3300/USA), la cual, se colocó en la parte superior de la muestra manteniendo una distancia entre el objetivo y la muestra de 35 cm.

Las condiciones de configuración de la cámara se utilizaron en modo automático, con un nivel de exposición 0 y no se utilizó flash para evitar la generación de sombras y con ello la toma inadecuada de la imagen. Las imágenes obtenidas con esta metodología fueron utilizadas para el cálculo de parámetros morfológicos como circularidad y diámetro de Feret. Se obtuvieron imágenes del aguacate Hass (148.92x 99.37 mm) con una escala de 28 pixeles/mm.

Figura 9.

Diagrama de toma de imagen del Aguacate Hass en donde a) representa la cámara semiprofesional y b) la muestra.



Fuente: Villalobos J.C, 2021.

3.3.2.4 Análisis de textura de imagen

La textura de imagen es un atributo que representa la disposición espacial de los niveles de intensidad de gris en los píxeles que componen un objeto o región de interés de una imagen, lo que permite cuantificar algunas características visuales dentro de la imagen, como la rugosidad de los objetos (Du Jin & Wen Sun, 2004; Quevedo et al., 2008).

Asimismo, la textura de imagen se ha utilizado para describir propiedades como la homogeneidad y la regularidad de una imagen. En la literatura se han reportado una gran variedad de métodos empleados para analizar la textura y uno de los más importantes para la evaluación de la textura de imagen en los alimentos es el algoritmo de la Matriz de Co-ocurrencia de Escalas de Grises (GLCM, por sus siglas en inglés) y el algoritmo de Conteo de Cajas de Desplazamiento Diferencial (SBDC, por sus siglas en inglés).

A partir de estos métodos se pueden extraer varios parámetros como el segundo momento angular (SMA), contraste, diferencia de momento inverso (DMI), entropía, entre otros. EL SMA mide la uniformidad de textura de la imagen, mientras que el contraste define las variaciones locales de los valores de escala de grises de los píxeles de una imagen, la DMI es un valor que representa la homogeneidad local de la imagen. Mientras que, el parámetro de entropía determina la complejidad de la imagen con relación a la aleatoriedad de los niveles de grises (Hernández Carrión et al., 2015). Para la adquisición de imagen se utilizó un microscopio de aumento (Modelo YOMYM/USA) con 2 MP de resolución y 8 LED's.

Para el análisis de imagen de textura, el aguacate Hass fue segmentado en tres secciones: parte superior, medio e inferior como se muestra en la Figura 8 (Sección Cinética de Maduración). El análisis de textura se llevó a cabo mediante el algoritmo de GLCM, tomando en cuenta el número de niveles de grises (0 a 255), la distancia en píxeles y el ángulo de desplazamiento (Arzate Vazquez, 2001). A partir de este algoritmo se obtuvieron los valores de SMA, contraste, DMI y entropía.

Por otra parte, se obtuvieron los valores de la textura fractal para lo cual se utilizó el algoritmo SDBC, medida que se relaciona directamente con el grado de rugosidad de la superficie de una muestra. Para este análisis se obtuvieron imágenes de la superficie del aguacate Hass (21.20x 15.90 mm) con una escala de 30.19 píxeles/mm.

3.3.2.5 Procesamiento de imagen

Las imágenes adquiridas se obtuvieron en formato RGB y fueron guardadas en formato TIFF. Posteriormente las imágenes digitales obtenidas en RGB se convirtieron a una escala de 8 bit (0 a 255), después se utilizó el algoritmo "threshold" (umbral) y se realizó la segmentación basada en regiones. Para el ADI se utilizó el software Image J versión J v.1.40 y se siguieron las etapas mencionadas por Pedreschi (Pedreschi et al., 2004): Adquisición de la imagen, procesamiento, segmentación de la imagen, extracción de parámetros de la imagen y clasificación (Du Jin & Wen Sun, 2004; Quevedo et al., 2008).

3.3.2.6 Sólidos solubles

La concentración de sólidos solubles se determinó por medio de un refractómetro con un rango de 0 a 30 ° Brix.

Se prepararon una solución de pulpa con agua destilada y pulpa en relación 1:3, se colocó en la centrifuga a 3.000 rpm durante 15 minutos después de esto se tomó una gota de la pulpa homogeneizada con agua destilada y se colocó sobre el prisma de la superficie del refractómetro completamente limpia y se cubre y se procede a medir.

3.3.2.7 Potencial de hidrogeno (pH)

La determinación de pH se realizó en una solución de agua destilada y pulpa se colocaron en vasos de precipitado y se procedió a medir el pH siguiendo la metodología NTE INEN-ISO 1842:2013.

3.3.2.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software IBM SPSS Statistics versión 26. Se realizó un análisis de ANOVA con un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$). Los gráficos se desarrollaron mediante el software KaleidaGraph 4.1.1.

3.4 Selección de la muestra

Las muestras seleccionadas, se tomaron al azar de un productor del barrio de Ixtipan, Teziutlán, Puebla (altitud de 1.990 m y latitud 19.8169) en el periodo de marzo 2021. Con una tonalidad purpura.

3.5 Recolección de datos

En el proceso de realización del análisis, los datos se adquirieron durante los 6 puntos donde se recolectaron los siguientes datos: peso, dimensiones, circularidad, diámetro de Feret, segundo Momento Angular, contraste, correlación, diferencial de momento inverso y entropía.

3.5.1 Selección del instrumento

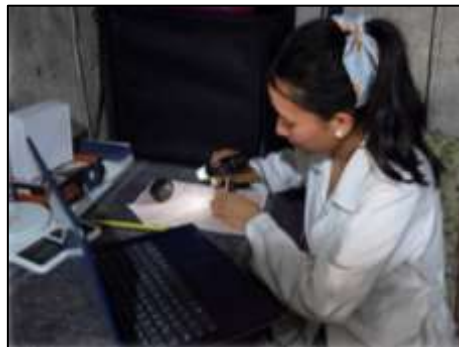
Debido a que el presente trabajo de tesis es un trabajo experimental. La selección de los instrumentos empleados fue de acuerdo con las metodologías planteadas en las secciones anteriores como: bitácoras, refractómetro, potenciómetros, entre otros. Instrumentos que permitieron el desarrollo del presente trabajo.

3.5.2 Aplicación del instrumento

- **Bitácora:** con el objetivo de recolectar los datos cuantitativos y cualitativos de los experimentales.
- **Estudio fotográfico:** Se utilizó para realizar las fotografías, en el cual se colocó un fondo blanco para evitar sombras, las luces led que contiene el estudio se acomodó en un ángulo de 45° para tener la luz dispersa en toda la muestra
- **Luxómetro:** Se usó para medir la luz del medio que rodea el estudio, al igual que dentro del estudio para obtener una luz parcial entre ambos datos.
- **Vernier:** Se usó para medir las dimensiones del aguacate.
- **Microscopio:** Se utilizó para la adquisición de imagen del aguacate en cuanto a textura.

Figura 10

Aplicación del instrumento.



Fuente: Florentino I, 2021.

3.5.3 Preparación de datos

Los datos adquiridos se transfirieron de una base de datos de Excel al software IBMSPSS Statistics versión 26, para realizar el análisis estadístico

3.6 Análisis de datos

Se realizó un análisis de ANOVA con un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$).

Capítulo IV Resultados

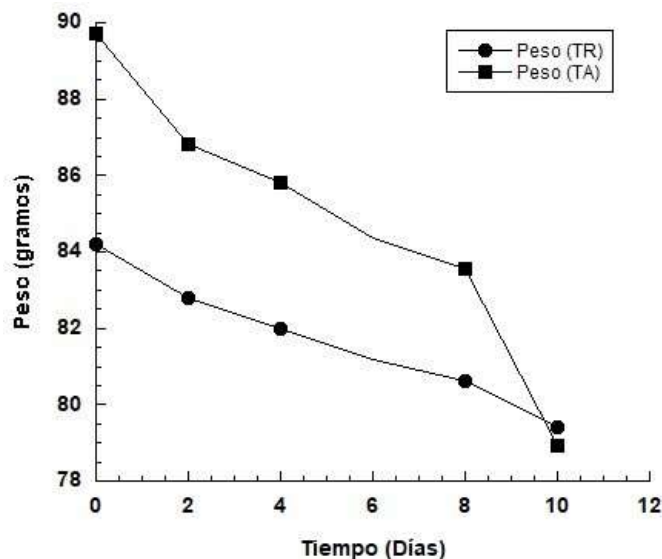
4.1 Resultados/Discusión de resultados

Los resultados mostraron un peso promedio inicial de 87.09 g, lo que permite clasificarlos dentro de un calibre E de acuerdo a la NMX-FF-016-SCFI-2016, lo que corresponde a un aguacate que pertenece al ámbito comercial debido a que se encuentran entre los 85 -135 gramos (peso unitario). Dentro de este sector se permiten: "daños superficiales que afecten un máximo del 50 % de la superficie del fruto causados por roña, granizo y rozaduras, siempre y cuando los aguacates conserven sus características esenciales de calidad, estado de conservación y su presentación. Deben estar libres de daños mecánicos que afecten severamente la pulpa del fruto" (Productos Alimenticios No Industrializados Para Uso Humano – Fruta Fresca – Aguacate Hass (Persea Americana Mill), 2016).

El comportamiento respecto a la pérdida de peso (Figura 11), fue diferente entre los dos tratamientos empleados (TA y TR). Las muestras almacenadas en temperaturas de refrigeración (controladas), no presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) durante los días analizados (0, 2, 4, 6, 8 y 10); resultados que concuerdan con los reportados por Henao Rojas y Rodríguez (Henao Rojas, JuanCamilo y Emilio Rodríguez, 2016). Sin embargo, las muestras sin control de temperatura (temperatura ambiente), presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), mostrando que a partir del día 6 de almacenamiento las condiciones ambientales promovieron una mayor disminución de peso, respecto al peso inicial. En el día 10, las muestras presentaron un punto de intersección y no mostraron diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las temperaturas de almacenamiento empleadas.

Figura 11.

Cinética de pérdida de peso para las muestras TR: muestras almacenadas en condiciones de temperatura de refrigeración (controlada) y TA: muestras almacenadas en condiciones de temperatura ambiente (sin control).

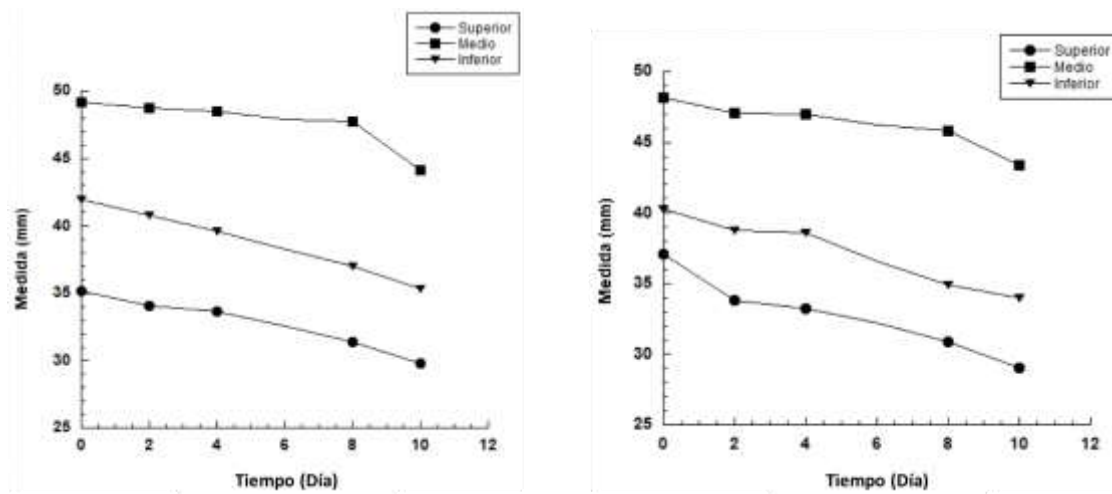


Fuente: Florentino I, 2021

En la Figura 12, se presentan los resultados de las mediciones realizadas con el vernier durante la cinética de maduración, para la parte superior, media e inferior del aguacate, con el objetivo de identificar si las muestras se veían afectadas por las temperaturas de almacenamiento empleadas, en ambos casos de estudio se presentó una disminución en las dimensiones del fruto climatérico. Respecto, a las muestras almacenadas en refrigeración (TR), para la parte superior, medio e inferior presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) a partir del día 8. Lo que mostró que a pesar de que el peso no se ve afectado con la temperatura de refrigeración, la morfología del producto si se ve afectada. No obstante, para las muestras a TA, la diferencia ($p \leq 0.05$) se presentó a partir del día 10 para la parte superior y media del fruto y para la parte inferior la diferencia se presentó a partir del día 8. Lo que muestra que el almacenamiento en temperaturas sin control, afecta de manera heterogénea la morfología del fruto.

Figura 12.

Mediciones (mm) de la parte superior, media e inferior del aguacate Hass, la gráfica de la izquierda corresponde a las muestras almacenadas a temperatura ambiente y la gráfica de la derecha corresponde a las muestras almacenadas a temperatura de refrigeración.



Fuente: Florentino I, 2021

Por otra parte, se utilizaron los descriptores morfométricos de diámetro de Feret y circularidad (Tabla 5); en donde los resultados para circularidad, presentan una disminución durante el proceso de madurez; la circularidad es la medida que indica que tan cerca está la muestra analizada a un círculo perfecto, en este trabajo la circularidad se podría utilizar como parámetro de deformidad o deformación que presenta la muestra como respuesta al estrés sometido durante su almacenamiento, por lo tanto, valores bajos del parámetro de circularidad se relacionarían con una mayor deformidad. Respecto, al diámetro de Feret parámetro que representa la distancia entre dos líneas paralelas que son tangenciales al contorno de la proyección de la muestra analizada, se observaron variaciones entre los días analizados, lo que se podría ver reflejado en la madurez del producto. Se podría concluir que el tiempo de almacenamiento y temperatura afectan directamente la morfología del producto.

Tabla 5.

Análisis Digital de Imagen de los descriptores morfométricos (diámetro de Feret y circularidad) para TA: muestras almacenadas en condiciones de temperatura ambiente y TR: muestras almacenadas en condiciones de temperatura de refrigeración.

Día	TA		TR	
	Circularidad	Diámetro de Feret (mm)	Circularidad	Diámetro de Feret (mm)
0	0.692	68.982	0.715	66.82
2	0.692	79.074	0.742	68.95
4	0.628	66.408	0.721	75.98
6	0.561	81.566	0.687	84.63
8	0.573	72.722	0.651	71.58
10	0.537	66.431	0.698	75.39

Fuente: Florentino I, 2021

Se evaluaron los parámetros de textura como segundo momento angular, contraste, DMI, entropía de imagen utilizando el algoritmo GLCM y el algoritmo SDBC para evaluar la dimensión fractal de textura (DF)(Hernández Carrión et al., 2015), reportaron que las superficies más rugosas o irregulares de las imágenes obtenidas de pimiento rojo de Lamuyo tenían valores de DF más altos, cuando el pimiento presentaba un mayor daño microestructural debido a las presiones utilizadas, lo cual, se reflejaba en una superficie más irregular (Valenzuela Lagarda et al., 2018) reportaron que la interacción entre la proteína y el almidón en las botanas obtenidas por extrusión causaron cambios morfométricos significativos, lo que se reflejó directamente en los resultados de DF (2.665 – 2.739).

En el presente trabajo, los resultados fueron analizados mediante un ANOVA y una prueba de Tukey con un intervalo de confianza del 95%. Solo se presentan los valores obtenidos para el día 0 y 2 a temperatura ambiente (TA) y de refrigeración (TR).

En cuanto a los parámetros de SMA, contraste y correlación, para el día 2 no se encontró diferencia estadísticamente significativa en las muestras analizadas ($p > 0.05$), sin embargo, en las muestras almacenadas a TA se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para los parámetros de diferencia de momento inverso (DMI) y entropía de imagen en la parte inferior de los frutos. El DMI, también conocido como parámetro de homogeneidad, es una medida que representa la homogeneidad local de la imagen, por lo que las muestras a TA presentan una menor homogeneidad a partir del día 2. Por otra parte, la entropía se utiliza como un indicativo de la complejidad de la imagen (Arzate Vazquez, 2001), las muestras almacenadas a temperatura ambiente, para el día 2 presentan imágenes con una mayor complejidad lo que se interpreta como una superficie rugosa e irregular de la cascará en los frutos almacenados a TA. Para el día 2, la dimensión fractal (DF) más alta la presentó la muestra a TA, lo que se relaciona con una mayor rugosidad en las muestras conforme el proceso de madurez y senescencia del producto se presentó (Tabla 6).

Tabla 6

Efecto del almacenamiento a TA (temperatura ambiente) y TR (temperatura de refrigeración), en los parámetros de textura del aguacate Hass.

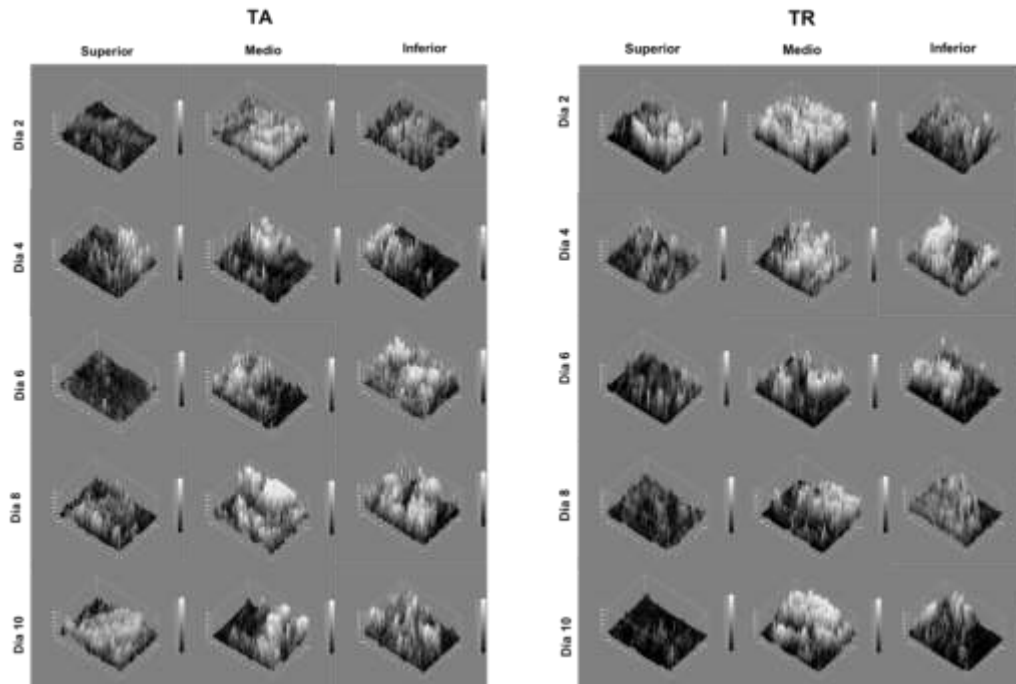
Día	Segundo Momento Angular	Contraste	Correlación	Diferencia de Momento Inverso	Entropía	DF
0	0.0055 0.0004	± 259.58 ± 27.95	± 0.0007 ± 0.0006	± 0.3378 ± 0.0472	± 7.61 ± 0.44	2.40 ± 0.020
2-TA	0.0021 ± 0.0023	317.20 ± 205.03	± 0.0005 ± 0.0002	± 0.2799 ± 0.8861	± 8.14 ± 0.79	2.43 ± 0.004
2 TR	0.0033 0.0032	± 247.49 ± 135.65	± 0.0007 ± 0.0002	± 0.3016 ± 0.0980	± 7.93 ± 0.83	2.42 ± 0.027

Fuente: Florentino I, 2021

El parámetro de contraste indicó que el aguacate Hass que estuvo almacenado a temperatura ambiente presentó una mayor heterogeneidad de la imagen, es decir, representa una imagen más compleja, en comparación con la imagen inicial. Los resultados de textura mostraron que la microestructura del aguacate Hass, se ve afectada con la temperatura de almacenamiento y tiempo, estos resultados concuerdan con los descriptores morfométricos de diámetro de Feret y circularidad mencionados anteriormente. En la Figura 13, se muestran los gráficos de superficie en 3D de la textura del aguacate Hass a temperatura ambiente y temperatura de refrigeración, para los días 2, 4, 6, 8 y 10, en donde se pueden observar los cambios que sufre la cáscara de aguacate durante el proceso de maduración y que se ven reflejados en la calidad del fruto.

Figura 13

Gráficos de superficie en 3D de la textura del aguacate Hass a TA (temperatura ambiente) y TR (temperatura de refrigeración), para los días 2, 4, 6, 8 y 10.



Fuente: Florentino I, 2021

4.1.1 Resultados de análisis físico-químicos

Para el desarrollo de los análisis físico-químicos se tomaron muestras al azar de aguacate Hass del área de Teziutlán en tres diferentes tipos de maduración, cada fruto se partió a la mitad, se retiraron cascara y hueso, y se homogeneizó la pulpa. Las pruebas se realizaron por triplicado para cada análisis.

Los parámetros fisicoquímicos del aguacate Hass en sus diferentes etapas de madurez (Tabla 7). Los resultados de °Brix a temperatura ambiente se acerca a los obtenidos por (Astudillo Ordoñez & Rodriguez, 2018) en aguacate Hass producido en Colombia con un resultado de 0.121 en cuanto a solidos solubles a temperatura de refrigeración son menores por la temperatura controlada.

Por otra parte, el potencial de hidrogeno los resultados mostraron un comportamiento similar a los reportados por (Benitez et al., 2021) con las muestras obtenidas a temperatura de 9 °C con aguacate proveniente de Valle del Cauca (Colombia) con un pH de 0.39. En cuanto a las condiciones de temperaturas a las cuales se analizaron se muestra que retardan algunos procesos los cuales influyen en la maduración del fruto.

Tabla 7.

Efecto de parámetros físico-químicos del aguacate Hass

Parámetros físicoquímicos	Temperatura ambiente	Temperatura refrigeración	
°Bx	0.391	0.252	
pH	0.117	0.187	Agua destilada
pH	0.1	0.380	Pulpa

Fuente: Florentino I, 2021

Capítulo V

Conclusiones

5.1 Conclusiones del proyecto

Se puede concluir que los parámetros de textura permiten obtener información acerca de los cambios morfoestructurales que se presentan en la superficie (cáscara) del aguacate Hass (*Persea americana mill*) durante el proceso de maduración, cambios que se podrían correlacionar con la calidad del producto y que sirven para la selección y clasificación del fruto. El presente trabajo reafirma que el análisis digital de imagen es una herramienta viable para la evaluación cuantitativa de la microestructura del aguacate Hass.

Los valores de textura de imagen como: entropía, SMA, DMI, contraste, correlación y DF se pueden utilizar como indicadores de los cambios sufridos por el fruto durante su almacenamiento y que podría ser empleada por los productores y/o proveedores como una técnica no invasiva para la medición de textura y otros parámetros físicos del aguacate Hass de la región VI, del estado de Puebla.

Lo que se vería reflejado de manera directa en una menor pérdida del fruto y en la disminución de residuos sólidos urbanos. Los resultados obtenidos por el presente trabajo, influyen directamente en los motores de planeación estipulados para el desarrollo nacional (2017-2030) del aguacate por parte de SAGARPA en los sectores de tecnología aplicada al campo y sustentabilidad en la producción agrícola.

5.2 Conclusiones relativas a los objetivos específicos

Se obtuvo la cinética de maduración del aguacate en temperatura ambiente y refrigeración mostrando la viabilidad del uso de ADI, obteniendo los datos que permitirán tener un aguacate de calidad de la región VI del Estado de Puebla.

5.3 Conclusiones relativas al objetivo general

El uso del análisis digital de imagen muestra viabilidad para implementar con los agricultores.

5.4 Limitaciones del modelo planteado

En el proyecto las limitaciones son las siguientes.

- Establecer la técnica del uso del ADI.
- Realizar un prototipo con las condiciones necesarias.
- Automatizar el análisis digital de imagen

5.5 Recomendaciones

Para el seguimiento del proyecto, se recomienda realizar más pruebas al azar una vez establecida la técnica con agricultores de otras regiones, para observar la funcionalidad de la técnica en aguacate con otras altitudes y lugares; así como automatizar la técnica y hacer el proceso más práctico para el agricultor

Capítulo VI

Competencias desarrolladas

6.1 Competencias desarrolladas y/o aplicadas

En la conformación del presente proyecto se han aplicado de forma eficaz diversas habilidades y conocimientos obtenidos en las diferentes áreas de la tecnología y la industria alimentaria, las cuales son herramientas claves este proyecto.

Como las siguientes:

- Implementación de nuevas estrategias para el uso de las diferentes plataformas de comunicación y de información.
- Desarrollo de estrategias para seleccionar información obtenida de una investigación previa, con el objetivo de tener información fundamentada y concisa.
- En este proyecto se hace énfasis en el uso de softwares (Image J, IBM SPSS Statistics, KaleidaGraph) para el desarrollo implementándolos en la industria alimentaria.
- Se obtuvieron conocimientos sobre las prácticas de cosecha y pos-cosecha de aguacate Hass (*Persea americana mill*) que siguen los agricultores, así como cuales son las causas de la pérdida de aguacates
- Se desarrolló la capacidad de trabajar con tecnologías y materiales en casa.

Capítulo VII

Fuentes de información

7.1 Fuentes de Información

- Alcaide, J., & Arteaga Martín, L. (n.d.). *Evolución de la Imagen a lo Largo de la Historia*.
<https://culturaaudiovisualsanblas.jimdofree.com/cultura-audiovisual-i/imagen-y-significado/evolucion-de-la-imagen/>
- Arzate Vazquez, I. (2001). *Aplicación del análisis de textura de imágenes para la caracterización cuantitativa de superficies biológicas*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- Arzate Vazquez, I. (2011). *Aplicación del Análisis de Textura de Imágenes para la Caracterización Cuantitativa de Superficie Biológicas*. Instituto Politécnico Nacional.
- Astudillo Ordóñez, C. E., & Rodríguez, P. (2018). *Physicochemical parameters of avocado Persea americana Mill. cv. Hass (Lauraceae) grown in Antioquia (Colombia) for export*. 0122–8706. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v19n2/0122-8706-ccta-19-02-00383.pdf>
- Astudillo Ordoñez, E. C., & Rodriguez, P. (2018). Parámetros fisicoquímicos del aguacate Persea americana Mill. cv Hass (Lauraceae) producido en Antioquia (Colombia) para exportación. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Mosquera, 19*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Fccta%2Fv19n2%2F0122-8706-ccta-19-02-00383.pdf&clen=232130&chunk=true
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos* (E. Quintanar Duarte (ed.); Cuarta).
- Benitez, J., Sánchez, A., Bernal, L., Ochoa Martínez, C., Vélez, C., & Sandoval, A. (2021). Cambios Fisicoquímicos del aguacate Hass durante el Almacenamiento Frio y la Maduración Acelerada. *Revista Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial, 19*(1692–3561).
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612021000200041
- Cáez Ramírez, G., Téllez Medina, D. I., García Armenta, E., & Gutiérrez López, G. F. (2017). *Digital Image Analysis and Fractal Metrics as Potential Tools to Monitor Colour Changes in Freshcut Papaya (Carica papaya L.)*. 79–81.

- CEDRSSA. (2017). *Caso de exportación: el aguacate*.
http://www.cedrssa.gob.mx/post_caso_de_-n-exportacinin-_el_aguacate-n.htm
- CEDRSSA. (2019). *Estadística de la Producción Agrícola*. 0.
http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php
- Cordero Contreras, J. Á. (2018). PRODUCTOS VEGETALES Y DE FRUTAS – DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES –MÉTODO REFRACTOMÉTRICO (IDT). In *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 2173:2013* (Primera, pp. 1340–11345).
<https://silo.tips/download/quito-ecuador-norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-iso-21732013-extracto>
- Data, M. (2021). *Teziutlán*.
<https://datamexico.org/es/profile/geo/teziutlan?redirect=true#economic-indicators>
- De los Santos, A. (2011). La Teoría del Color. In *Fundamentos Visuales* (Diseño Gra, pp. 5–6). <https://adelossantos.files.wordpress.com/2010/10/teroria-del-color.pdf>
- Du Jin, C., & Wen Sun, D. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 230–249.
- FAO. (2016). *Tabla Munsell y su correcto uso de en la descripción de los suelos*.
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/05/21/el-correcto-uso-de-tabla-munsell-en-la-descripcion-de-los-suelos/>
- Gago Salvadó, A. (2010). *Dispositivo para la medición de color en líquidos* (Patent No. 1072570).
- Gallardo Frade, J. A. (2015). *Introducción al color*. Frade., J. A. (2015). Introducción al color.
- Garbanzo Solís, M. (2011). *Manual de aguacate*.
- Giovanni, A. C. E. (2017). *Técnicas Colorimétricas*. 21–22.
http://revista.cleu.edu.mx/new/descargas/1703/articulos/Articulo08_Tecnicas_colorimetricas.pdf
- Giraldo Ramos, P. J., García Navarro, M., Guerrero Aguirre, A., & Sanz Uribe, J. R. (2015). *Equipo Portátil Para la Cosecha Selectiva Con Identificación de Frutos Por Color*. (Patent No. 121809).

- Grupo Cooperativo Cajamar. (2014). Parámetros de Calidad Interna de Hortalizas y Frutas en la Industria Agroalimentaria. *Fichas de Transferencia*, 8–9. <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcgclclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.cajamar.es%2Fstorage%2Fdocuments%2F005-calidad-interna-1410512030-cc718.pdf&cLen=1586168&chunk=true>
- Guerrero, R. (2015). *Teoría del Color*. http://dirinfo.unsl.edu.ar/servicios/abm/assets/uploads/materiales/a68e3-03_color_15.pdf
- Hernández Carrión, M., Hernando, I., Sotelo Díaz, I., Quintanilla Carvajal, M. X., & Quiles, A. (2015). Use of image analysis to evaluate the effect of high hydrostatic pressure and pasteurization as preservation treatments on the microstructure of red sweet pepper. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 69–78. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856414001684>
- Herrera Mejía, J. M. (2015). *Análisis de la Composición Cromática en el Tejido Residencial de la Ciudad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Info Agrónomo. (2020). *¿Qué son los frutos Climatéricos y No Climatéricos?* <https://infoagronomo.net/que-son-los-frutos-climatericos-y-no-climatericos/>
- Khanitta, Ratprakhon Werner, N., Riehn, K., Fritsche, J., & Rohn, S. (2020). *Developing an Automatic Color Determination Procedure for the Quality Assessment of Mangos (Mangifera indica) Using a CCD Camera and Color Standards*. 3–2.
- Lozano Hernández, Á. (2015). *Situación Actual del Sistema Producto Aguacate*.
- Mangaraj, s. and Goswami, T. k. (2011). Modeling of Respiration Rate of Litchi Fruit under Aerobic Conditions. *Food and Bioprocess Technology*, 4. <https://www.semanticscholar.org/paper/Modeling-of-Respiration-Rate-of-Litchi-Fruit-under-Mangaraj-Goswami/62a5aa3e904abaabd9b362d8ac97b64d06b09758>
- Martínez-González, Mónica Elizabeth; Balois-Morales, Rosendo; Alia-Tejacal, I. C., -Cruz, Moises Alberto; Palomino-Hermosillo, Y. A. L.-G., & Guadalupe, G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Martínez, E., & Salanova, S. (n.d.). *Las Primeras Fotos*. https://educomunicacion.es/cineyeducacion/historiafotografia_02_primeras_fotos.ht

m

- MathWorks. (2015). *Análisis de textura*. <https://es.mathworks.com/help/images/texture-analysis-1.html>
- Mejía Vélez, E. (2011). Aguacate persea americana miller. *Bayer CropScience*, 9.
- Mendoza, F., & Agulera, J. (2003). *Application of Image Analysis for Classification of Ripening Bananas*. 69.
- MorenoVelázquez, D., Ruíz-Parra, V., Ibáñez-Martínez, A., Torres-Fernández, C. ., Tobar-Reyes, J. ., & Enríquez-García, F. (2017). *Cambios Fisicoquímicos Poscosecha En Frutos De AguacateHass (Persea americana Mill) Cultivados a Diferente Altitud*. 26–28.
- NMX-FF-016-SCFI-2016. (2016). Productos alimenticios no industrializados para uso humano-fruta fresca-Aguacate (Persea americana Mill). Especificaciones. *Diario Oficial de La Federación. Secretaría de Economía*, 1–7. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5445368&fecha=21/07/2016
- Productos alimenticios no industrializados para uso humano – fruta fresca – aguacate hass (persea americana mill), (2016). <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-ff-016-scfi-2016.pdf>
- Obando Ulloa, J. M., Moreno, E., Garcia Mas, J., & Nicolai, B. (2008). *Climacteric or non-climacteric behavior in melon fruit. 1. Aroma volatiles*. https://www.researchgate.net/publication/234115443_Climacteric_or_non-climacteric_behavior_in_melon_fruit_1_Aroma_volatiles
- Olguín, I. (2019). *Aguacates poblanos surten el mercado canadiense*. <https://www.unionpuebla.mx/articulo/2019/04/24/economia/aguacates-poblanos-surten-el-mercado-canadiense>
- Ortiz Zamora, F. G. (2002). Fundamentos De Color. In *Procesamiento Morfológico De Imágenes En Color* (pp. 17–22). https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10053/4/Ortiz-Zamora-Francisco-Gabriel_3.pdf
- Pedreschi, F., Mery, D., Mendoza, F., & Aguilera, J. (2004). *Clasificación de las Patatas Fritas Utilizando el Reconocimiento de Patrones*. 69.

- Pérez Álvarez, S., Ávila Quezada, G., & Coto Arbelo, O. (2015). El aguacatero (*Persea americana* Mill). *SciELO Analytics*, 36(1819–4087). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000200016&lng=en&tlng=en
- Quevedo, R., Mendoza, F., Aguilera, J., Chanona, J., & Gutiérrez López, G. (2008). Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering*, 84, 509–515.
- Ranjit, K. ., Chethan, H. ., & Naveena, C. (2016). Identification and Classification of Fruit Diseases. *JERA*, 6(2248–9622), 12–13.
- Rettig, M. (2014). *El Color en los Alimentos Un criterio de Calidad Medible*. 40.
- Ríos Díaz, José; Martínez Payá, Jacinto Javier; Baño Aledo, M. E. del. (2009, June). El análisis textural mediante las matrices de co-ocurrencia (GLCM) sobre imagen ecográfica del tendón rotuliano es de utilidad para la detección cambios histológicos tras un entrenamiento con plataforma de vibración. *Cultura, Ciencia y Deporte*.
- Rodríguez Pulido, F. J. (2013). *Aplicación de la Técnica de Imagen Para Evaluación de la Madurez Fenólica de la Semilla de la Uva*. Universidad de Sevilla.
- Saavedra Luna, I. (2003). La Historia De La Imagen o Una Imagen Para la Historia. *Cuicuilco*, 4.9.
- Santacruz Vázquez, V. Santacruz Vázquez, C., Huerta Espinosa, V. ., & Cortés, Laguna, O. J. (2010). Evaluación del encogimiento y deformación de uvas durante su deshidratación por fluidización usando el análisis fractal. *Redalyc*, 23(1665–3521), 61–66.
- Sebastián Baima, José and Ribotta, P. D. (2019). Image analysis as a monitoring tool in the dehydration of banana slices. *Food Technol.*
- SIAP. (2020). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Torrieri, E., Perone, N. , Cavella, S. and Masi, P. (2010). Modelling the respiration rate of minimally processed broccoli (*Brassica rapa* var. *sylvestris*) for modified atmosphere package design. *International Journal of Food Science y Technology*, 10. https://www.researchgate.net/publication/230272189_Modelling_the_respiration_rat

e_of_minimally_processed_broccoli_Brassica_rapa_var_sylvestris_for_modified_atmo
sphere_package_design

- Union Puebla. (2019). *Aguacate, el oro verde que Puebla le dio al mundo*.
<https://www.unionpuebla.mx/articulo/2019/04/01/economia/aguacate-el-oro-verde-que-puebla-le-dio-al-mundo>
- Valenzuela Lagarda, J., García Armenta, E., Aguilar Pacheco, R., Gutierrez Dorado, R., Mazorra Manzano, M., Lugo Sánchez, M., & Muy Rangel, M. (2018). Relationships between morphometrical properties and the texture of an extrusion-expanded snack made from squid mantle (*Dosidicus gigas*). *Journal of Texture Studies*, 476–484.
- Velásquez, O., Montoya, C., & Arias, F. (2018). *Dinámica del mercado mundial de aguacate*. 0, 26–28.

Capítulo VIII

Anexos

8.1 Anexos



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



Secretaría
de Educación

CONCYTEP
Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla



El Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla,
otorga el presente

RECONOCIMIENTO A:

Florentino Vega Idalia, Villalobos Espinosa Julieta del Carmen,
Cebada Reyes José Guillermo

Por obtener el 1er lugar con el proyecto "Uso del análisis digital de imagen como herramienta de medición de la madurez del aguacate Hass (persea americana) de la región VI del estado de Puebla" en el área de: Ciencias de Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas en el "Segundo Encuentro Estatal de Jóvenes Investigadores 2021: Modalidad Virtual"

Atentamente

H. Puebla de Zaragoza, a 20 de agosto de 2021

Dr. Victoriano Gabriel Covarrubias Salvatori
Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla



Medellín, 21 de enero de 2022

Señores

Florentino, Vega-Idalia¹, Villalobos, Espinosa-Julietta del carmen^{1*}, Cebada, Reyes-José Guillermo²

Cordial saludo,

El comité organizador del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos-CIBIA XIII, se complace en informarle que su trabajo **Uso del Análisis Digital de Imagen como herramienta de medición de la madurez del aguacate Hass (persea americana)**, fue aceptado para ser presentado en el evento en la sesión **S14 Ingeniería de alimentos: Impresión 3D**.

De acuerdo a la evaluación por pares académicos, el resumen se acepta sin modificaciones.

Favor responder este correo con el nombre de la persona encargada de la presentación del trabajo en el evento. En breve estará listo el programa del evento donde podrá consultar el día y hora de su presentación y la modalidad de presentación del trabajo.

Recuerde inscribirse en el Congreso antes del 31 de enero. Los autores que no se inscriban en el congreso no serán incluidos en el programa ni podrán presentar su trabajo.

¡Les esperamos en CIBIA XIII!

Comité Organizador

Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos

CIBIA XIII

Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias

Universidad de Antioquia

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

El que suscribe:

IDALIA

FLORENTINO

VEGA

Con Número de
Control **17TE053**

Pertenece al
Programa **INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**
Educativo

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con el
producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

**USO DEL ANÁLISIS DIGITAL DE IMAGEN COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN DE LA MADUREZ
DEL AGUACATE HASS (*PERSEA AMERICANA MILL*) DE TEZIUTLÁN, PUEBLA**

Correspondiente al periodo:

AGOSTO 2021-MAYO 2022

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

**DRA. JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS
ESPINOSA**

ATENTAMENTE



IDALIA FLORENTINO VEGA

Nombre y firma

Fecha de emisión: **08/05/2022**
c.c.p. Subdirección Académica

Índice de figuras

Figura 1. Mecanismo de respiración de los frutos climatéricos y no climatéricos. 18	18
Figura 2. Aguacate Hass (<i>persea americana mill</i>). 21	21
Figura 3. Etapas del procesamiento de imagen..... 25	25
Figura 4. Cartas de color creadas por A.H. Munsell en 1905. 29	29
Figura 5. Tablas usadas actualmente para comparación de suelos agrícolas. 29	29
Figura 6. Calibración de colorímetro 30	30
Figura 7. Diagrama de flujo de trabajo..... 42	42
Figura 8. Representación esquemática de la selección de imagen para el análisis digital de imagen en el aguacate Hass (<i>persea americana mill</i>)..... 43	43
Figura 9. Diagrama de toma de imagen del Aguacate Hass en donde a) representa la cámara semiprofesional y b) la muestra. 45	45
Figura 10. Aplicación del instrumento. 48	48
Figura 11. Cinética de pérdida de peso para las muestras TR: muestras almacenadas en condiciones de temperatura de refrigeración (controlada) y TA: muestras almacenadas en condiciones de temperatura ambiente (sin control). 52	52
Figura 12. Mediciones (mm) de la parte superior, media e inferior del aguacate Hass, la gráfica de la izquierda corresponde a las muestras almacenadas a temperatura ambiente y la gráfica de la derecha corresponde a las muestras almacenadas a temperatura de refrigeración. 53	53
Figura 13. Gráficos de superficie en 3D de la textura del aguacate Hass a TA (temperatura ambiente) y TR (temperatura de refrigeración), para los días 2, 4, 6, 8 y 10. 57	57

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía del aguacate Hass (persea americana mill)	20
Tabla 2. Antecedentes de mediciones de color en productos de interés alimentario y/o biotecnológicos	32
Tabla 3. Antecedentes de prototipos para la medición de color.	34
Tabla 4. Antecedentes de investigación con análisis de textura.	38
Tabla 5. Análisis Digital de Imagen de los descriptores morfométricos (diámetro de Feret y circularidad) para TA: muestras almacenadas en condiciones de temperatura ambiente y TR: muestras almacenadas en condiciones de temperatura de refrigeración.	54
Tabla 6. Efecto del almacenamiento a TA (temperatura ambiente) y TR (temperatura de refrigeración), en los parámetros de textura del aguacate Hass.....	56
Tabla 7. Efecto de parámetros físico-químicos del aguacate Hass.....	58