

ACADEMIA JOURNALS



OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIUM

# Humanidades, Ciencia, Tecnología e Innovación en Puebla

ISSN 2644-0903 online

Vol. 5. No. 1, 2023

[www.academiajournals.com](http://www.academiajournals.com)

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN AUSPICIADO POR EL  
CONVENIO CONCYTEP-ACADEMIA JOURNALS



**Gobierno de Puebla**

*Hacer historia. Hacer futuro.*



Secretaría  
de Educación  
Gobierno de Puebla

**CONCYTEP**  
Consejo de Ciencia  
y Tecnología del Estado  
de Puebla

Idalia Florentino Vega

## Uso del Análisis Digital de Imagen como Herramienta de Medición de la Madurez del Aguacate Hass (*persea americana mill*) de Teziutlán, Puebla

Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Directora: Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa

Comité Revisor: Mtr. Marlene Hernández Hernández


Lic. Aridai Zabdi González Arcos

---

# 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 LA 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**

COMITÉ REVISOR:

**MTR. MARLENE HERNANDEZ HERNANDEZ**

**LIC. ARIDAI ZABDI GONZALEZ ARCOS**

DEPARTAMENTO DE APROBACIÓN DE TESIS

**SUBDIRECCIÓN GENERAL**

FECHA DE APROBACIÓN

**9-MAYO-2022**

“La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

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

Autor: Idalia Florentino Vega

### **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 cascara 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 XV 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 are 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 area 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 sample 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 imagen analysis; Texture; Fractality; Hass avocado

**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, gráfico 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. Bo



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). 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. Primer Lugar en el Segundo Encuentro Estatal de Jóvenes Investigadores 2021: Modalidad virtual. Área: Ciencias de Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas. (ANEXOS).

## **Agradecimientos**

*Agradezco a mis formadores educativos las cuales trabajaron por ayudarme a llegar hasta el sitio 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, igualmente estoy agradecida con 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 por lo que ellos aman, me han ayudado a lograr importantes objetivos como culminar mi residencia profesional, participar en concursos de investigación, exponer mi trabajo internacionalmente y crecer como estudiante en el área de investigación, así mismo como también haberme tenido la paciencia para guiarme durante el proceso.*

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

## 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 produce principalmente en 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, Atempan, 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 zona 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 el verse afectada directamente la economía de los productores y/o proveedores. Por lo que, podemos 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 la metodología que permita la obtención de los parámetros de interés con las 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.

SBBDC: Algoritmo de Conteo de Cajas de Desplazamiento Diferencial.

# Índice

Resumen .....	1
Abstract .....	2
Agradecimientos.....	5
Introducción.....	6
Glosario de abreviaturas .....	7
<b>Capítulo I Generalidades del proyecto</b>	
1.1 Descripción de la empresa u organización y del puesto de área del trabajo del estudiante .....	12
1.2 Problema de investigación a resolver .....	14
1.3 preguntas de investigación.....	14
1.5 Objetivos específicos .....	15
1.6 justificación de la investigación .....	15
<b>Capítulo II Marco teórico</b>	
2.1 Fundamentos teóricos .....	18
2.1.1 Frutos Climatéricos y no Climatéricos.....	18
2.1.2 Frutos climatéricos .....	18
2.1.3 Frutos no climatéricos.....	19
2.1.4 Mecanismos de respiración .....	19
2.2 Aguacate Hass ( <i>persea americana mill</i> ) .....	20
2.2.1 Historia .....	20
2.2.2 Taxonomía .....	21
2.2.3 Características botánicas .....	21
2.2.4 Cosecha.....	23
2.2.5 Pos-cosecha.....	23
2.2.6 Métodos de caracterización de la Madurez del Aguacate Hass .....	24
2.2.7 pH .....	24
2.2.8 Sólidos solubles (°Bx) .....	25
2.3 Adquisición de imagen .....	25
2.3.1 Historia .....	25
2.3.2 Análisis digital de imágenes .....	25
2.3.3 Etapas de la Técnica para el Procesamiento de Imagen.....	26

2.4 Análisis Digital de Imagen (ADI)_Color .....	27
2.4.1 Historia .....	27
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 Desarrollo y metodología	
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 .....	48
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	
4.1.1 Resultados de análisis físico-químicos .....	57
Capítulo V Conclusiones	
5.1 Conclusiones del proyecto .....	59
5.2 Conclusiones relativas a los objetivos específicos .....	59
5.3 Conclusiones relativas al objetivo general .....	59

5.4 Limitaciones del modelo planteado .....	60
5.5 Recomendaciones .....	60
Capítulo VI Competencias desarrolladas	
6.1 Competencias desarrolladas .....	62
Capítulo VII Fuentes de información	
7.1 Fuentes de Información .....	64
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 de área del trabajo del estudiante**

El 8 de noviembre de 1994 se publicó 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, como personalidad jurídica y patrimonio propio.

El día 22 de abril de 1998 el Ingeniero Alberto Sánchez Serrano oficialmente fue nombrado como nuevo director del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, iniciando una nueva etapa en la vida de esta institución trayendo realizando cambios sustanciales tales como: impulso y mejoramiento en el aspecto académico del Instituto. La 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), mejora a sistemas de control en el área administrativa, 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 tomo el compromiso de certificarse a través de la Normal ISO 9001-2008 y es en abril del año 2006 cuando la casa de estudios recibe orgullosamente y 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 se va reforzando el Instituto en una nueva filosofía, su deseo de trascender se convierte en una mentalidad 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 Estado, para el periodo 2010-2011.

El 30 de agosto de 2018, se otorgó el cargo de la Dirección General la Mtra. Arminda Juárez Arroyo, con la finalidad de lograr 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, considera 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 dispongan, y que cumplan puntualmente con sus programas de trabajo.

Las carreras que 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 productos agrícolas es de las actividades más importantes dentro de la sociedad, debido a que es una de las fuentes principales de la economía en la región y una forma de interacción social y cultural entre las personas.

En el estado de Puebla, cada municipio es generador de una gran variedad de productos agrícolas dentro de los cuales, se encuentran 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 de análisis digital de imagen en aguacate Hass (*Persea americana mill*) como herramienta de medición de la 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

- ¿Cuáles son las principales características que se pierden 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 y textura) del fruto permitiendo así la caracterización?
- ¿Cuál es el principal problema que provoca que los aguacates no tengan las características de calidad necesarias?



- ¿Cuáles son las necesidades de satisfacer a satisfacer en los productores de aguacate Hass (*Persea americana mill*) para implementar en el uso de 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 ( $26.20 \pm 2.59$  °C) y temperatura de refrigeración ( $19.20 \pm 2.16$  °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 y textura de imagen).
- Definir las características del prototipo que permite mantener 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. Por lo que se ha generado la necesidad de realizar e 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 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**

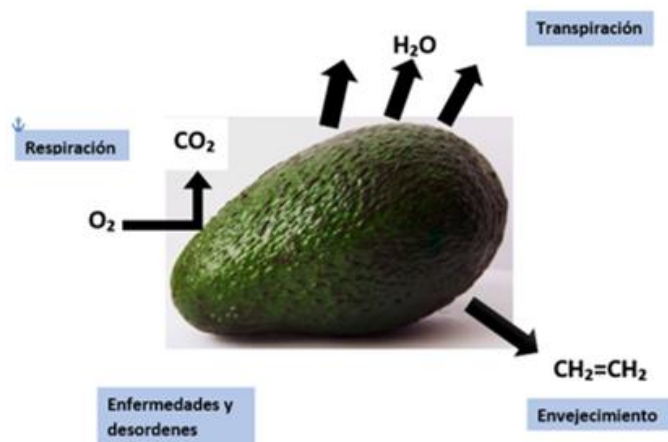
### **2.1.1 Frutos Climatéricos y no Climatéricos**

Los atributos de calidad como firmeza, color, sabor y textura están relacionados con el proceso de maduración, lo que ayuda adquirir conocimiento de la estructura, la fisiología y los cambios metabólicos. Los frutos se clasifican fisiológicamente por la presencia (climatéricos) o ausencia (no climatéricos) del aumento en la respiración (Figura 1) y en la síntesis de etileno al iniciación del proceso de maduración del fruto para consumo (Info Agrónomo, 2020).

### **2.1.2 Frutos climatéricos**

Los frutos climatéricos son los que pueden madurar aunque no estes adheridos a la planta, es decir que se cosechan en una etapa pre-climatérica y aún sigue el proceso de maduración, por ejemplo el tomate (*Solanum lycopersicum*), la manzana (*Matus domestica*) y el plátano (*Musa spp.*), son frutos que consigue rápidamente el estado de senescencia, ya que su proceso de respiración se acompaña por un aumento en los niveles de etileno, para llegar a un proceso de maduración (Martínez-González, Mónica Elizabeth; Balois-Morales, Rosendo; Alia-Tejacal 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 solo logran la maduración cuando aún están adheridos a la planta, a causa de que no presentan un aumento en la respiración y en la producción de etileno después de la cosecha del fruto, como la fresa (*Fragaria spp.*), la uva (*Vitis vinifera L.*) y los cítricos.

Los frutos no climatéricos no desarrollan los patrones climatéricos como la biosíntesis de etileno, la respuesta auto catalítica al etileno y el aumento en la respiración, sin embargo muestran algunas respuestas típicas al etileno como lo es el 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 forma esquemática de la respiración, debido a que el proceso implica una variedad de reacciones metabólicas, las cuales comienzan desde el nivel de las hojas almacenando energía solar y a través de la fotosíntesis almacena compuestos orgánicos.

La respiración aerobia, es el proceso en que los materiales orgánicos almacenados, como carbohidratos, ácidos orgánicos y grasas los cuales son degradados oxidativamente hasta moléculas más simples (CO<sub>2</sub> y agua) para realizar la liberación de energía (ATP y calor) (Mangaraj, s. and Goswami, 2011). Mientras que el ciclo de los ácidos tricarboxílicos (ciclo de Krebs), la glucólisis 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 llegan a su madurez son cosechados y siguen su proceso de envejecimiento y mueren. El aguacate Hass posee una tasa alta de respiración por la división celular y el aumento de la biosíntesis de etileno auto catalítico aumenta posteriormente de la cosecha, lo que concuerda con la maduración. Esto dificulta la conservación y comercialización en mercados distantes puesto que reduce la calidad, vida de anaquel y valor comercial.

## **2.2 Aguacate Hass (*persea americana mill*)**

### **2.2.1 Historia**

El aguacate es nativo de las regiones tropicales y subtropicales de México y Centroamérica. Desde los tiempos su cosecha era de gran importancia para las poblaciones indígenas, así como para las civilizaciones Mayas y Aztecas ya que era muy consumido.

Se introdujo en las Antillas por los españoles y se extendió a Florida, California y Sudamérica, lugar en el que se realizaron modificaciones genéticas en los factores agronómicos para mejorar su calidad, posteriormente fue exportado a diferentes regiones del mundo donde el fruto se desarrolló de mejor manera por las condiciones ecológicas de las regiones (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*)**

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

(Mejia Vélez, 2011)

## 2.2.3 Características botánicas

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

**Figura 2.** Aguacate Hass (*Persea americana mill*)



Fuente: Florentino I, 2021.

Para el comercio el cultivo de aguacate Hass es significativo ya que tiene notoriedad en el mercado internacional por las siguientes razones:

- El fruto tiene un hueso pequeño, su pulpa es de calidad y tiene un alto contenido de aceite.
- Es resistente al manejo pos-cosecha y transportación.
- El periodo de floración es amplio, es decir que no madura hasta que este se cosecha, permitiendo así que los productores planeen la cosecha según las condiciones del mercado.
- Esta variedad se adapta a cualquier medio donde se cosecha, resiste plagas y enfermedades.

Es una drupa, en forma de pera de color verde claro a verde oscuro, al estar maduro, su cascara obtiene una tonalidad oscura y su piel cambia de verde oscuro a verde purpurino. Tiene un sabor a avellana con textura suave, cremosa y contiene una semilla de tamaño pequeño a mediano y se produce todo el año (CEDRSSA, 2017).



## 2.2.4 Cosecha

La norma mexicana NMX-FF-016-SCFI-2016 establece los requisitos mínimos que se deben efectuar para cosechar el aguacate Hass.

- No utilizar ningún tipo de pesticidas sistémicos un mes antes de la cosecha.
- Esterilizar herramientas y equipos a usar en la cosecha.
- No dañar, ni golpear 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.
- Vaciar cuidadosamente y mínima altura para poder 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.
- Se recomienda recolectar en las primeras horas de la mañana, para evitar estrés y deshidratación.
- Una vez recolectado el aguacate 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 inicia la 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 bandas y los rodillos que los llevan al cepillado, continuado 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 empaquetado donde se realiza la última inspección para ser empaquetados.

Los pallets pasan a cuartos refrigerados con una temperatura de conservación de 5.5 a 6.5 °C con 90-95% de humedad relativa, posteriormente del pre-enfriamiento pasan a la cámara de conservación donde permanecen para 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).

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 firmó un convenio de agricultura entre la empresa Trudeau Farms y productores de aguacate Hass de la región, por lo que se exportara a Canadá por primera vez 240 toneladas de 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 los productos esto permite poder darle una aplicación en la industria, 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 medida importante en la industria agroalimentaria ya que es de las más utilizadas, 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, esta ejercerá como una pared 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 Imagen

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 (MorenoVelázquez et al., 2017) utilizaron el procedimiento de medición de color en cascara de aguacate Hass (Persea americana Mill) durante el cambio de estado de madurez, 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).

En 1913 se desarrolló el sistema CIE Y CILAB basado en función de los valores triestímulo, como respuesta de tres diferentes tipos de conos sensibles al color por el ojo humano (Hiller). Se define 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 del color 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 con tanta precisión 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 través de un proceso de oposición de colores, agrupados en tres pares rojo- verde, amarillo- azul y blanco negro.

### **2.4.2 Color**

El color está relacionado 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 según sus propiedades físicas absorben y reflejan la luz de maneras diferentes, 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 provocando rebotes con diferentes longitudes de onda, debido a la estructura de los ojos, si los rayos de luz traspasan 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).

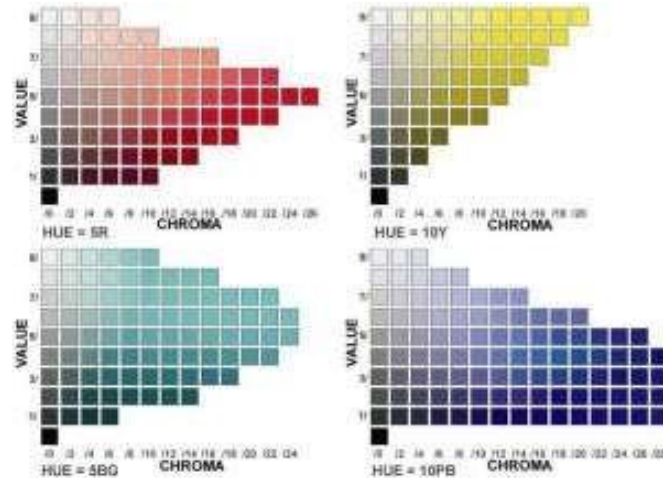
- **Luminosidad (brillo):** Esta es una propiedad de la sensación visual según en la cual una superficie parece emitir más o menos luz (puede o no ser más o menos luminosa o brillante).
- **Matiz (tono):** Es la sensación visual que corresponde a las denominaciones de los colores como azul, verde, amarillo, 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 son unos de los primeros sistemas de medición de color, creado por Munsell en 1905 (Figura 4) en el que 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 reconocer un color bajo ciertas condiciones de iluminación, para un mejor uso se recomienda utilizarlas 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).

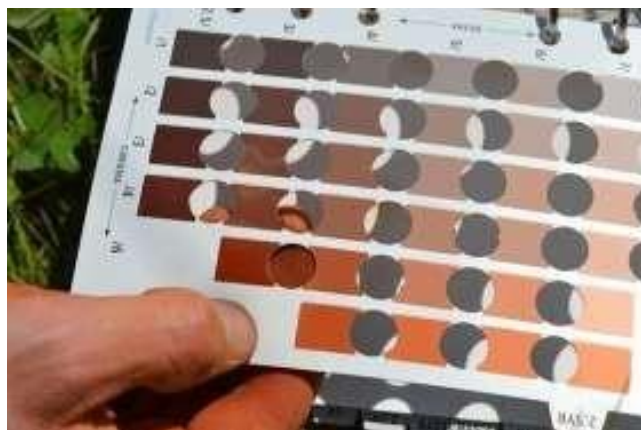
**Figura 4.** Cartas de color creadas por A.H. Munsell en 1905



Fuente: Bitácora de color,2013

Mientras que en 1915 cambio su diseño (Figura 5) en 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 bioquímicos, proporciona información cualitativa y cuantitativa principalmente sobre sustancias en disolución. El colorímetro es un instrumento 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 obtienen 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 permiten aplicar la colorimetría triestímulo en imágenes digitales, obteniendo así información colorimétrica de cada pixel considerando la distribución de todos los pixeles 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 uva para su valoración de la madurez además de que ayuda en la contribución de estandarización del color en vinos tintos, usando técnicas de análisis de imagen, aplicación de la colorimetría triestímulo al estudio del papel de los flavonoles en la co-pigmentación de antocianas (Rodríguez Pulido, 2013).

**Tabla 2. Antecedentes de mediciones de color en productos de interés alimentario y/o biotecnológicos**

Tipo de análisis decolor	Producto/características 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 de prototipo	Producto que evaluó	Condiciones de medición	Resultados	Referencias
<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</p> <hr/> <p>adquisición usa un espacio volumétrico en forma de cubo, que tiene las dimensiones siguientes:</p>	Café	Medio ambiente en climas caluroso y semihúmedos	<p>Cuenta con un sistema de procesamiento de imagen para la cosecha selectiva de granos de café, teniendo como unidad mínima de observación el cultivo a nivel de rama y fruto, se extraen 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)

---

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

Cuenta con una carcasa transparente, acceso para el líquido, emisor de luz, sensor de color, unidad de alimentación.

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

Pantalla de visualización de parámetros.

Líquidos

•

Se elimina la cuantificación subjetiva del color lo que aumenta a su vez 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.

(Gago Salvadó, 2010)

---

• No tiene datos en el artículo

Fuente: Autor, 2021

## **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 pretende 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 cambios en los valores de intensidad, o niveles de grises (MathWorks, 2015).

El propósito del análisis de textura de imagen es medir de manera cuantitativa los cambios microestructurales de alimentos a partir de imágenes. La textura de una imagen se ha utilizado 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 calculan 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 permitiendo caracterizar la textura de una imagen.

Las matrices de co-ocurrencia son medidas de segundo orden ya que se consideran parejas de píxeles vecinos, alejados cierta distancia y en un determinado ángulo. Por tanto, las matrices de co-ocurrencia logran 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).

Este algoritmo, permite extraer diversos parámetros de textura, relacionados con la presencia de estructuras organizadas dentro de la imagen y características como la homogeneidad y contraste.

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

- **Energía (ASM, Angular Second Moment):** medida de la homogeneidad local de una imagen. La cual 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):** 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):** variable relacionada con el orden o desorden que tiene una imagen y usada para caracterizar la textura de las imágenes complejas que 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 utilizando el 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 seleccionando solo 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 redujo 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 la humedad de equilibrio.	(Sebastián Baima, José and Ribotta, 2019).



Evaluación del encogimiento y deformación de uvas durante su deshidratación por fluidización usando el análisis fractal	Uvas	Se trabajó con uvas enteras ( <i>Vitis vinífera</i> ) las uvas fueron peladas manualmente y posteriormente fueron deshidratadas. Se utilizó un secador de lecho fluidizado experimental a escala de laboratorio. Las 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.	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 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.	(Santacruz Vázquez, V. Santacruz Vázquez et al., 2010).
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).

# **Capitulo III**

## **Desarrollo y metodología**

### 3.1 Alcance y enfoque de la investigación

- Estandarizar 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

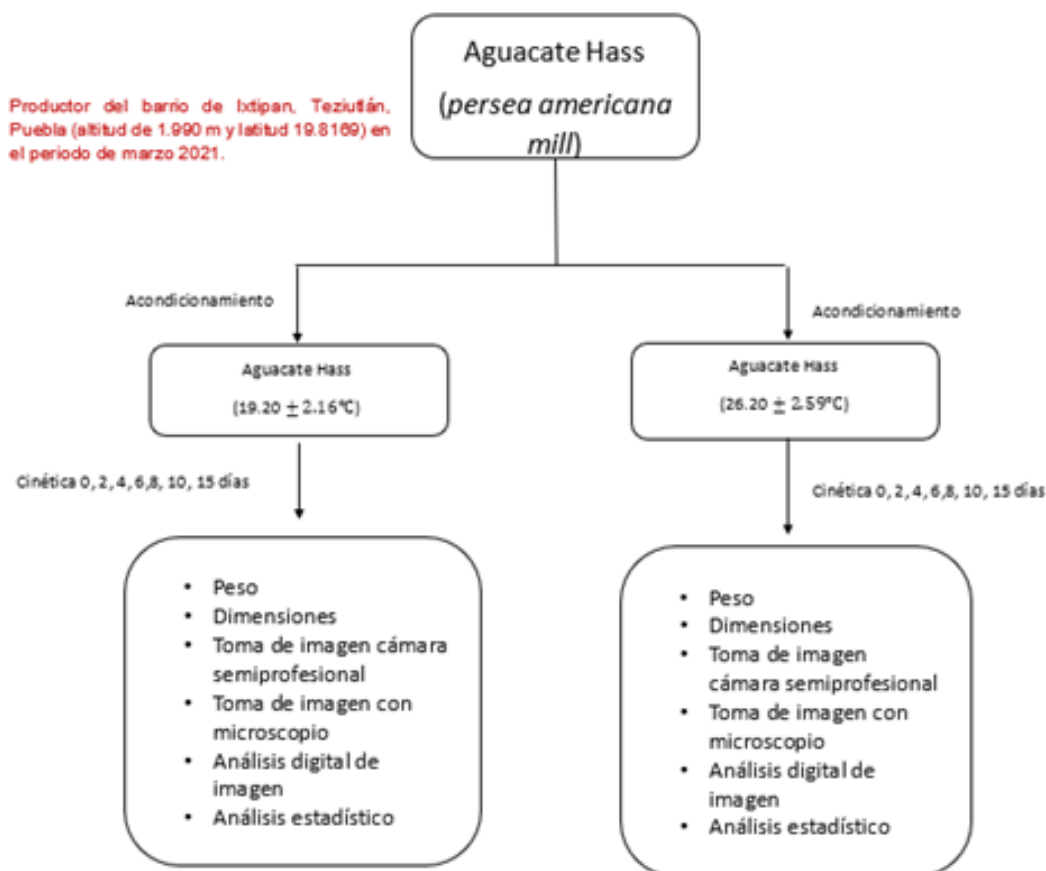
El presente proyecto se llevó a cabo una investigación experimental, ya que se empleó un análisis de campo, así mismo se utilizó para el desarrollo del proyecto.

**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 muestra el diagrama de flujo de trabajo (Figura 7), 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 valoración de los parámetros físico-químicos se utilizaron 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

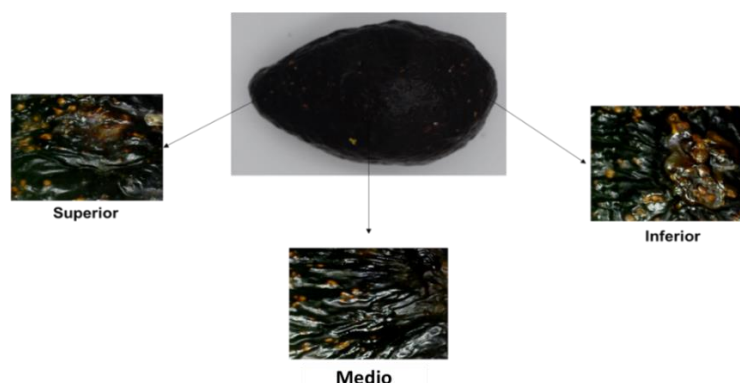
Para la determinación de parámetros físicos peso y longitud se usaron 30 muestras de la fruta.

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 para 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 imagen para el análisis digital de imagen en el aguacate Hass (*persea americana mill*)



Fuente: Villalobos J.C, 2021

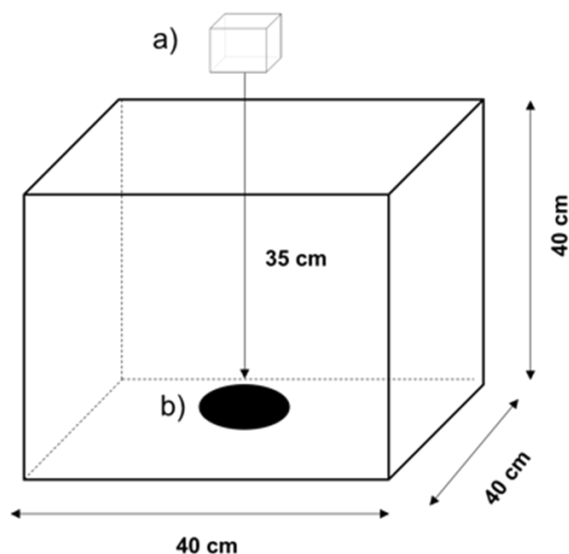
### **3.3.2.3 Adquisición de imagen**

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 de luz 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 toma de 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 (148.92 x 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 una propiedad 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 características visuales dentro de la imagen, como la rugosidad de los objetos (Du Jin & Wen Sun, 2004; Quevedo et al., 2008).

Así mismo, 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 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 (21.20 x 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 preparó una solución de pulpa con agua destilada y una de 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, se cubre y se procede a medir.

### **3.3.2.7 Potencial de hidrogeno (pH)**

Para la determinación del potencial de hidrogeno 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**

El software IBM SPSS Statistics versión 26 se utilizó para el análisis estadístico, realizando 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 adquieren durante los 6 puntos donde se recolectaron los siguientes datos: peso, dimensión, 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  $45^\circ$  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 realizo un análisis de ANOVA con un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0.05$ ).

# **Capítulo IV**

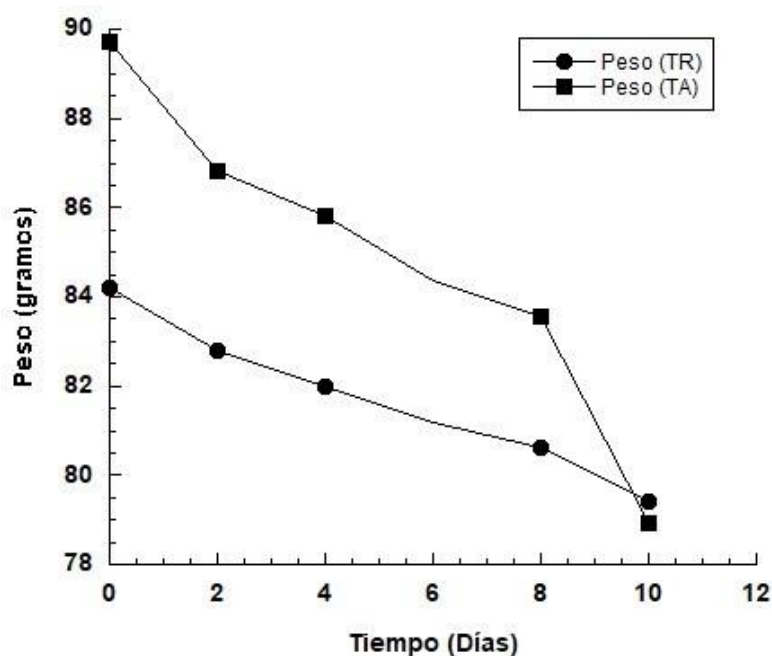
## **Resultados**

### **4.1. Resultados / Discusiones de resultado**

Los resultados mostraron un peso promedio inicial de 87.09g, 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), reflejaron 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, Juan Camilo y Emilio Rodríguez, 2016). Sin embargo, las muestras sin control de temperatura (temperatura ambiente), mostraron 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.

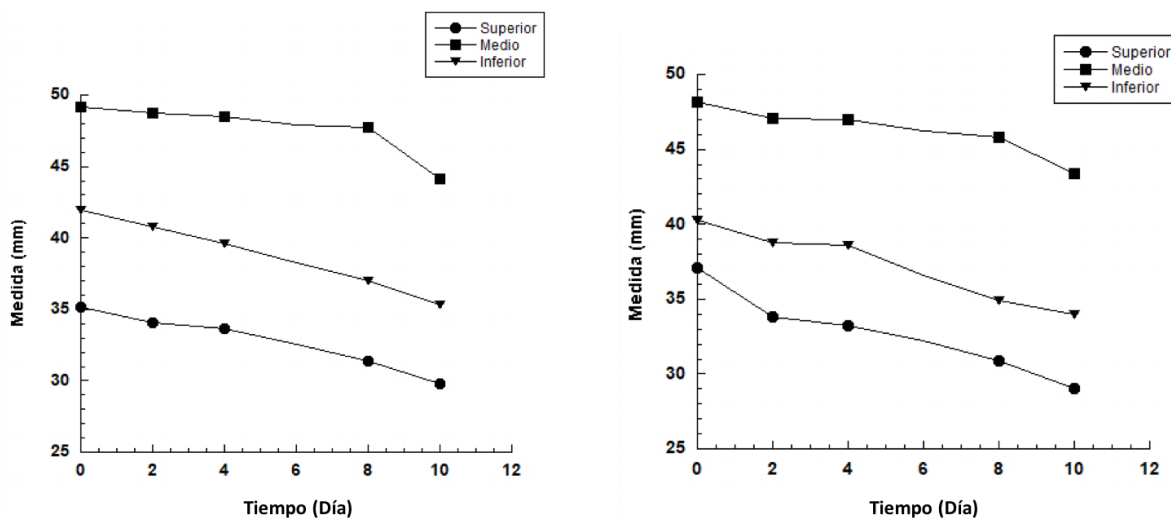
**Figura 11.** Cinética de pérdida de peso para las muestras TR: muestras almacenadas en condiciones de temperatura de refrigeración (controlada) y TA: muestras almacenadas en condiciones de temperatura ambiente (sin control)



Fuente: Florentino I,2021

En la Figura 12, se muestran 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 repuesta 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	0.536	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), (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 se analizaron 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 ( $p \leq 0.05$ ), en 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**

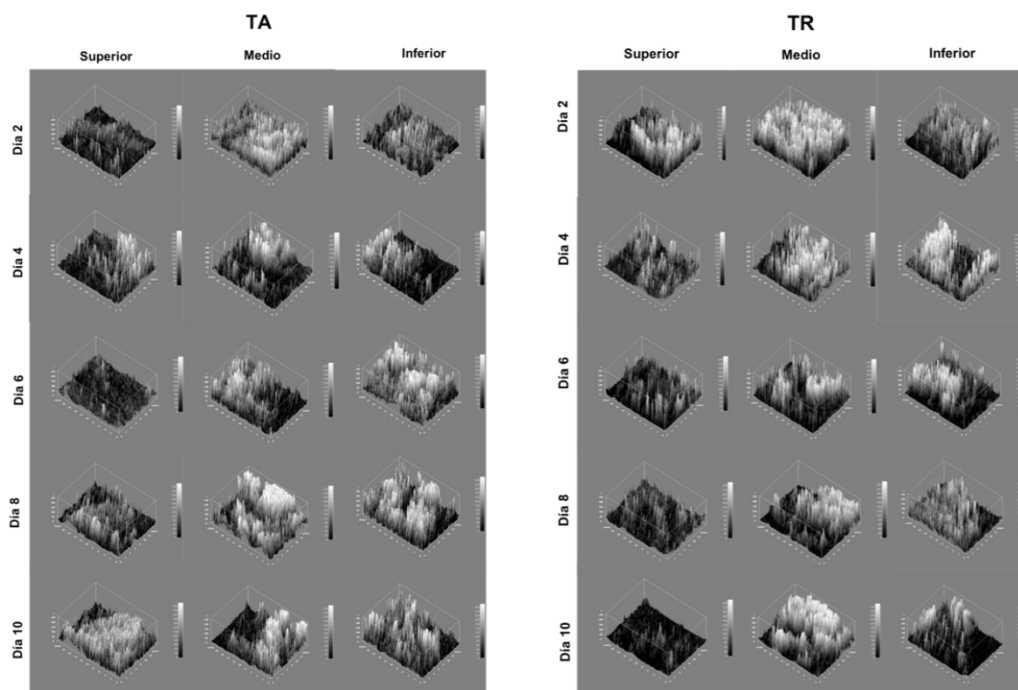
Día	Segundo Momento Angular	Contraste	Correlación	Diferencia de Momento Inverso	Entropía	DF
0	0.0055 ± 0.0004	259.58 ± 27.95	0.0007 ± 0.0006	0.3378 ± 0.0472	7.61 ± 0.44	2.40 ± 0.020
2-TA	0.0021 ± 0.0023	317.20 ± 205.03	0.0005 ± 0.0002	0.2799 ± 0.8861	8.14 ± 0.79	2.43 ± 0.004
2-TR	0.0033 ± 0.0032	247.49 ± 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. La Figura 13, muestra 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, el fruto se partió a la mitad, se homogeneizó la pulpa y se desecharon cascara y hueso. Las pruebas se realizaron por triplicado para cada análisis.

Los parámetros fisicoquímicos presentados en el aguacate Hass por cada etapas de madurez (Tabla 7) mostraron que 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 otro lado, 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 fisicoquímicos	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 alcanzados 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 poderlo 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

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/>

Álvarez Córdova, E. (2018). *Cultivo del Aguacate (Persea americana Miller) (pp. 17–18)*. [http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia\\_Centa\\_Aguacate\\_2019.pdf](http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia_Centa_Aguacate_2019.pdf)

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://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/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 Físicoquímicos 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](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](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](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.*

*Escalante Ramírez, B. (2006). Procesamiento Digital de Imágenes.*

*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 aguate.*

*Giovanni, A. C. E. (2017). Técnicas Colorimétricas. 21–22.*

*[http://revista.cleu.edu.mx/new/descargas/1703/articulos/Articulo08\\_Tecnicas\\_colorimetricas.pdf](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://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.cajamar.es%2Fstorage%2Fdocuments%2F005-calidad-interna-1410512030-cc718.pdf&cldn=1586168&chunk=true*

*Guerrero, R. (2015). Teoría del Color.*

*[http://dirinfo.unsl.edu.ar/servicios/abm/assets/uploads/materiales/a68e3-03\\_color\\_15.pdf](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 Mejia, 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.htm](https://educomunicacion.es/cineyeducacion/historiafotografia_02_primeras_fotos.htm)

*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., & Aguilera, 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 Físicoquímicos 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](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](https://www.researchgate.net/publication/234115443_Climacteric_or_non-climacteric_behavior_in_melon_fruit_1_Aroma_volatiles)
- Olgún, 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](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](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\\_rate\\_of\\_minimally\\_processed\\_broccoli\\_Brassica\\_rapa\\_var\\_sylvestris\\_for\\_modified\\_atmosphere\\_package\\_design](https://www.researchgate.net/publication/230272189_Modelling_the_respiration_rate_of_minimally_processed_broccoli_Brassica_rapa_var_sylvestris_for_modified_atmosphere_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**

## **Anexo**

## 8.1 Anexos



**Gobierno de Puebla**  
*Hacer historia. Hacer futuro.*



Secretaría  
de Educación



**CONCYTEP**  
Consejo de Ciencia  
y Tecnología del Estado  
de Puebla



El Encuentro Estatal de  
**Jóvenes  
Investigadores**  
2021: Modalidad Virtual

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



Medellín, 21 de enero de 2022

**Señores**

Florentino, Vega-Idalia<sup>1</sup>, Villalobos, Espinosa-Julietta del carmen<sup>1\*</sup>, Cebada, Reyes-José Guillermo<sup>2</sup>

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**

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico Superior de Teziutlá

**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 Educativo **INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

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-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: **04/05/2022**

c.c.p. Subdirección Académica

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Mecanismo de respiración de los frutos climatéricos y no climatéricos...	19
<b>Figura 2.</b> Aguacate Hass ( <i>persea americana mill</i> ).....	22
<b>Figura 3.</b> Etapas del procesamiento de imagen.....	26
<b>Figura 4.</b> Cartas de color creadas por A.H. Munsell en 1905.....	29
<b>Figura 5.</b> Tablas usadas actualmente para comparación de suelos agrícolas.....	28
<b>Figura 6.</b> Calibración de colorímetro.....	29
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de trabajo.....	42
<b>Figura 8.</b> Representación esquemática de la selección de imagen para el análisis digital de imagen en el aguacate Hass ( <i>persea americana mill</i> ).....	43
<b>Figura 9.</b> Diagrama de toma de imagen del Aguacate Hass en donde a) representa la cámara semiprofesional y b) la muestra.....	45
<b>Figura 10.</b> Aplicación del instrumento.....	49
<b>Figura 11.</b> 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
<b>Figura 12.</b> 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
<b>Figura 13.</b> 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.....	56

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía del aguacate Hass ( <i>Persea americana mill</i> ).....	21
<b>Tabla 2.</b> Antecedentes de mediciones de color en productos de interés alimentario y biotecnológicos.....	/o 32-33
<b>Tabla 3.</b> Antecedentes de prototipos para la medición de color.....	34-35
<b>Tabla 4.</b> Antecedentes de investigación con análisis de textura.....	38-39
<b>Tabla 5.</b> Análisis Digital de Imagen de los descriptores morfológicos (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
<b>Tabla 6.</b> Efecto del almacenamiento a TA (temperatura ambiente) y TR (temperatura de refrigeración), en los parámetros de textura del aguacate Hass.....	56
<b>Tabla 7.</b> Efecto de parámetros físico-químicos del aguacate Hass.....	57