



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERIA DE SISTEMAS**

**TESIS**

**RECONSTRUCCIÓN 3D A PARTIR DE IMÁGENES  
TOMOGRÁFICAS DE  
FRUTOS CON PEPA, UTILIZANDO LA TÉCNICA DE  
PROYECCIÓN DE MÁXIMA INTENSIDAD  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
DE SISTEMAS**

**Autor (es):**

**Bach. Sernaque Sernaque Anderson**

**Asesor**

**Ing. Mejia Cabrera Heber Ivan**

**Línea de Investigación:**

**Ciencias de la Computación**

**Pimentel – Perú**

**2018**



## Aprobación de Tesis

---

Mg. Tuesta Monteza Víctor Alexci  
**Presidente del jurado de tesis**

---

Ing. Bravo Ruiz Jaime Arturo  
**Secretario del jurado de tesis**

---

Ing. Bruno Sarmiento José Manuel  
**Vocal del jurado de tesis**

## DEDICATORIA

### **A Dios.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

### **A mi madre Silvia.**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

### **A mi padre Marino.**

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

### **A mi Hermana Stefany**

Por ser el ejemplo de una hermana que con su ejemplo me motivo a esforzarme y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles.

## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado. Le doy gracias a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

Gracias también a todas las personas que fueron pieza fundamental para el desarrollo de este proyecto de investigación, a mi asesor especialista, el ingeniero Mejía Cabrera Heber Iván, a mi amigo de investigación Christian Wilmer Asenjo Medina, a la Dra. Deysi Fiestas, perteneciente al Centro de Radiología Intervencionista CERIN, sin su intervención hubiera sido imposible la culminación de este proyecto de investigación.

## INDICE

I.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
2.1	Planteamiento del problema .....	1
2.1.1	Situación problemática .....	1
2.1.2	Formulación del problema .....	7
2.1.3	Delimitación de la Investigación .....	7
2.1.4	Justificación e importancia .....	8
2.1.5	Limitaciones de la Investigación .....	9
2.1.6	Objetivos.....	10
II.	MARCO TEÓRICO.....	10
3.1	Antecedentes de la investigación .....	10
3.2	Estado del Arte.....	19
2.3	Base teórico científicas .....	23
2.3.3.1	Imagen digital: .....	23
2.3.3.1.1	Concepto:.....	23
2.3.3.1.2	Digitalización de imágenes:.....	24
2.3.3.1.3	Adquisición de imágenes:.....	25
2.3.3.1.4	Almacenamiento de imágenes:.....	27
2.3.3.1.5	Procesamiento de imágenes: .....	27
2.3.3.1.6	Visualización de imágenes .....	29
2.3.3.1.7	Tipos de imágenes digitales: .....	29
2.3.3.1.7.1	Mapa de bits: .....	29
2.3.3.1.7.2	Imágenes vectoriales: .....	30
2.3.3.2	Imágenes médicas: .....	30
2.3.3.2.1	Concepto:.....	30
2.3.3.2.2	Tipos de imágenes médicas: .....	32
2.3.3.2.2.1	Rayos x: .....	32
2.3.3.2.2.1.1	Radiografía:.....	32
2.3.3.2.2.1.2	Fluoroscopia:.....	33
2.3.3.2.2.1.3	Angiografía: .....	34
2.3.3.2.2.1.4	Mamografía:.....	35
2.3.3.2.2.1.5	Radiología:.....	36
2.3.3.2.2.1.6	Radiología digital (RDL):.....	36
2.3.3.2.2.2	Tomografías:.....	37



2.3.3.2.2.2.1	Tomografía por impedancia Eléctrica (TIE): .....	38
2.3.3.2.2.2.2	Tomografía Computarizada (TC): .....	39
2.3.3.2.2.2.2.1	Tomografía Computarizada Convencional:.....	41
2.3.3.2.2.2.2.2	Tomografía Computarizada Unicorte: .....	42
2.3.3.2.2.2.2.3	Tomografía Computarizada Multicorte: .....	42
2.3.3.2.2.2.2.4	Tomografía Computarizada Helicoidal: .....	44
2.3.3.2.2.3	Resonancia magnética: .....	46
2.3.3.2.2.3.1	Angiografía con Resonancia Magnética (MRA): .....	46
2.3.3.2.2.3.2	Resonancia Magnética funcional (fMRI): .....	47
2.3.3.2.2.4	Ultrasonido: .....	47
2.3.3.2.2.4.1	Ultrasonido Doppler:.....	48
2.3.3.2.2.4.2	Elastografía: .....	49
2.3.3.2.2.4.3	Ultrasonografía 4D:.....	49
2.3.3.2.2.5	Endoscopia: .....	50
2.3.3.2.2.5.1	Endoscopia por cápsulas:.....	51
2.3.3.2.2.5.2	Cromo endoscopia: .....	51
2.3.3.3	Estándares de imágenes: .....	52
2.3.3.3.1	Join Photographic Experts Group (JPEG): .....	52
2.3.3.3.2	Fractals Images Format (FIF): .....	53
2.3.3.3.3	Graphics Interchange Format (GIF): .....	53
2.3.3.3.4	Target Image File Format (TIFF): .....	54
2.3.3.3.5	Portable Network Graphics (PNG): .....	54
2.3.3.3.6	Foto de CompactDisc (FotoCD):.....	55
2.3.3.3.7	Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM):.....	55
2.3.3.4	Técnicas de procesamiento de imágenes: .....	56
2.3.3.4.1	Procesamientos básicos: .....	56
2.3.3.4.1.1	Cambios de intensidad: .....	56
2.3.3.4.1.2	Procesamientos geométricos: .....	57
2.3.3.4.1.3	Filtrados Frecuenciales: .....	58
2.3.3.4.1.4	Filtros de detección de bordes: .....	59
2.3.3.4.1.5	Umbralización:.....	59
2.3.3.4.2	Procesamientos avanzados:.....	60
2.3.3.4.2.1	Extracción de características: .....	60
2.3.3.4.2.2	Segmentación:.....	61



2.3.3.5	Imágenes tridimensionales: .....	62
2.3.3.5.1	Concepto:.....	62
2.3.3.5.2	Reconstrucción de imágenes 3D: .....	62
2.3.3.5.3	Técnicas de reconstrucción de imágenes 3D: .....	63
2.3.3.5.3.1	Métodos basados en puntos: .....	63
2.3.3.5.3.1.1	Técnica basada en puntos correspondientes estéreo: .....	63
2.3.3.5.3.1.2	Técnica basada en puntos correspondientes no estéreo:.....	64
2.3.3.5.3.2	Método basado en curvas de nivel: .....	65
2.3.3.5.3.3	Método basado en forma estadística del modelo: .....	66
2.3.3.5.3.4	Método paramétrico: .....	67
2.3.3.5.3.5	Método híbrido: .....	68
2.3.3.5.3.6	Reconstrucción Multiplanar (MPR): .....	70
2.3.3.5.3.7	Reconstrucción de Superficie Sombreada (SSD):.....	71
2.3.3.5.3.8	Reconstrucción de Máxima Intensidad (MIP):.....	72
2.3.3.5.3.9	Representación Volumétrica (VR): .....	73
2.4	Definición de términos básicos: .....	74
III.	MARCO METODOLÓGICO .....	79
3.1	Tipo de investigación y diseño de la investigación .....	79
3.1.1	Tipo de investigación .....	79
3.1.2	Diseño de investigación .....	79
3.2	Población y muestra.....	80
3.2.1	Población.....	80
3.2.2	Muestra .....	80
3.3	Hipótesis.....	81
3.3.1	Variables .....	81
3.3.1.1	Variables dependientes .....	81
3.3.1.2	Variables independientes .....	81
3.4	Operacionalización.....	81
3.4.1	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	82
3.4.2	Procedimiento para la recolección de datos .....	83
3.4.3	Plan de análisis estadístico de los datos .....	84
3.4.4	Criterios éticos.....	86
3.4.5	Criterios de rigor científico .....	87
IV.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	90



4.1	Resultados en tablas y gráficos. ....	90
4.2	Discusión de los resultados .....	93
V.	PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	94
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	106
6.1	Conclusiones. ....	106
6.2	Recomendaciones.....	109
	REFERENCIAS .....	110
	ANEXO A.....	114
	ANEXO B.....	115
	ANEXO C.....	115





## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 (TREJO, 2010) IMPORTANCIA DE LA CADENA DE FRÍO EN FRUTOS TROPICALES Y SUBTROPICALES. ....	2
FIGURA 2 (FAO, 2014). PÉRDIDAS DE FRUTOS Y HORTALIZAS A NIVEL MUNDIAL. ....	3
FIGURA 3 (INCE, 2015). RECONSTRUCCIÓN DE LA IMAGEN 3D DE LA VÉRTEBRA LUMBAR. ....	20
FIGURA 4 (LI, J., NIE, L., LI, Z., LIN, L., TANG, L. & OUYANG, J, 2012). MODELO 3D INTERNO DEL PULMÓN; A, COMPONENTES VASCULARES CON BIFURCACIÓN DE LA TRÁQUEA Y DIVISIONES DEL ÁRBOL BRONQUIAL; B, DIVISIONES DE ÁRBOL BRONQUIAL. ....	22
FIGURA 5 (X. LI, X. WANG, Y. DAI, P. ZHANG, 2015). RECONSTRUCCIÓN 3D DE LOS PULMONES Y VASOS UTILIZANDO IMÁGENES TC. ....	23
FIGURA 6 (MILESCU, 2002). A) STEREO CORRESPONDING POINTS, B) NON STEREO CORRESPONDING POINTS .....	65
FIGURA 7 (HOSSEINIAN & AREFI, 2015). IDENTIFICACIÓN DE CONTORNOS ANATÓMICOS EN RADIOGRAFÍAS. A) FÉMUR DISTAL, B) PELVIS .....	65
FIGURA 8 (WIKILIBROS, 2007). MPR ORTOGONAL 3D .....	70
FIGURA 9 (ÁLVAREZ, HERRERA & OLGUÍN, 2010). RECONSTRUCCIÓN MULTIPLANAR. ....	71
FIGURA 10 (HOFER, 2015) FRACTURA DEL RADIO DISTAL (*) EN LA SUPERFICIE ÓSEA SSD 3D .....	72
FIGURA 11 RECONSTRUCCIÓN 3D, REPRESENTADO EN LOS EJES (X, Y, Z) .....	74
FIGURA 12. RESULTADOS DEL TIEMPO DE RESPUESTA DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES...90	90
FIGURA 13. A LA IZQUIERDA SE APRECIA LA RECONSTRUCCIÓN 3D UTILIZANDO LA TÉCNICA MIP (PROYECCIÓN DE MÁXIMA INTENSIDAD) Y A LA DERECHA LA PALTA REAL .....	91
FIGURA 14. VISUALIZACIÓN DE LA PALTA FUERTE EN DISTINTOS ÁNGULOS. ....	95
FIGURA 15. TOMÓGRAFO SOMATOM SCOPE .....	96
FIGURA 16. COLOCACIÓN DE LA PALTA EN LA CAMILLA DEL TOMÓGRAFO PARA SU EXPLORACIÓN. 96	96
FIGURA 17. OBTENCIÓN DE LOS 100 CORTES O SECCIONES. ....	97
FIGURA 18. TÉCNICA DE RECONSTRUCCIÓN 3D -MIP (PROYECCIÓN DE MÁXIMA INTENSIDAD) .....	98
FIGURA 19. PROCESAMIENTO DE RECONSTRUCCIÓN 3D .....	98
FIGURA 20. MONTAJE DE TODAS LAS IMÁGENES .....	99
FIGURA 21. EJEMPLAR .....	99
FIGURA 22. IMAGEN CON MÁXIMA INTENSIDAD .....	101
FIGURA 23. UMBRALIZACIÓN .....	102
FIGURA 24. IMAGEN LIMPIA DE IMPERFECCIONES .....	103
FIGURA 25. OBJETO IDENTIFICADO DE COLOR ROJO. ....	103
FIGURA 26. OBJETO CON MAYOR ÁREA.....	104
FIGURA 27. SELECCIÓN DE REGIÓN CON MAYOR INTENSIDAD.....	104
FIGURA 28. VISUALIZACIÓN FINAL DE LA RECONSTRUCCIÓN 3D DE LA PALTA. ....	105
FIGURA 29. (GAVIDIA, 2010) ESQUEMA DE PROCESOS Y RUTINAS IMPLEMENTADOS EN UNA HERRAMIENTA DESARROLLADA EN MATLAB .....	114
FIGURA 30. (GAVIDIA, 2010) REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DE UNA IMAGEN MÉDICA, DONDE CADA ELEMENTO $V, y, z$ DE LA MATRIZ 3D ES UN VOXEL.....	115



FIGURA 31. (GAVIDIA ET AL., 2009) CAPTURA DE PANTALLA DE LA GUI PRINCIPAL DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA EN MATLAB. EN LA IMAGEN SE OBSERVAN LAS TRES VISTAS ORTOGONALES Y LA VISTA 3D..... 115

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 CANTIDAD DE REPRESENTACIONES POR MODELO RECONSTRUIDO .....	80
TABLA 2 OPERACIONALIZACIÓN POR VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE .....	81
TABLA 3 FORMULAS PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN EN LA IMAGEN .....	92
TABLA 4. MEDIDAS DE LA IMAGEN REAL Y LA IMAGEN 3D.....	92

## Resumen

La presente investigación se enfocará en modelar la geometría real de la estructura de una palta, que servirá para que en ella se realicen cálculos, para saber el tiempo de refrigeración óptimo a la que debe ser almacenada, ya que los métodos actuales proponen para la determinación de este tiempo el uso de figuras geométricas, pero son limitadas, al no obtenerse resultados precisos.

Es por ello que surge la necesidad de proponer un método el cual consiste en utilizar un número finito de cortes de imágenes tomográficas, la cuales pasaran por técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes como pre procesamiento, segmentación y por último el modelado, que viene hacer la reconstrucción tridimensional (3D). Todo esto empleando unas de las técnicas de reconstrucción 3D de tomografía computarizada llamada MIP (Proyección de Máxima Intensidad)

El método completo iniciará con el desarrollo de un software de procesamiento de imágenes biomédicas en formato DICOM (Digital Imaging Standard for Medical Images) que será realizado en MATLAB®.

**Palabras clave:** Tomografías computarizadas, imágenes biomédicas, proyección de máxima intensidad, reconstrucción tridimensional.

## Abstract

The present research will focus on modeling the actual geometry of the avocado structure, which will be used to make calculations, to know the optimal refrigeration time at which it should be stored, since the current methods propose for the determination of this time the use of geometric figures, but they are limited, not obtaining accurate results.

This is why the need arises to propose a method which consists of using a finite number of tomographic image cuts, which will pass through advanced image processing techniques such as preprocessing, segmentation and finally modeling, 3D reconstruction. All this using one of the 3D reconstruction techniques of computerized tomography called MIP (Projection of Maximum Intensity) The complete method starts with the development of a software processing of biomedical images in DICOM (Digital Imaging Standard for Medical Images) to be held in MATLAB® format.

**Key Words:** CT scans, biomedical imag, maximum intensity projection, reconstruction 3D.

## Introducción

En la actualidad, existe un gran problema con el cambio fisiológico o deterioro de las frutas, para ello existen métodos de conservación como la congelación y la refrigeración que basan su cálculo en las formas geométricas de la fruta.

Las frutas presentan, en general, formas irregulares por naturaleza, por lo que es necesario contar con métodos de predicción adecuados para este tipo de alimentos.

En este sentido, se han publicado muchos artículos abarcando el desarrollo de métodos simples de predicción de tiempos de refrigeración de las frutas, basándose en geometrías con algún tipo de regularidad: rectangulares, cilindros finitos, esferoides.

Es evidente que aún es necesario encontrar una metodología adecuada para modelar y simular la forma fiable de una fruta. Un enfoque apropiado es considerar una imagen o representación por computadora, para ello nos hemos planteado la siguiente interrogante a resolver: ¿Cómo podemos generar una imagen más fiable de una fruta?, por este motivo se propone hacer una reconstrucción tridimensional (3D) a partir de imágenes tomográficas (TAC) de un fruto con pepa, para esta investigación utilizaremos un ejemplar de una palta. Ahora planteamos el problema: ¿Cómo reconstruir una imagen tridimensional a partir de imágenes tomográficas de frutos con pepa?, para ello utilizaremos la técnica de Proyección de Máxima Intensidad.

Teniendo en cuenta lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un método preciso para modelar la geometría real de la palta a través de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y algoritmos de reconstrucción 3D.



## I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 2.1 Planteamiento del problema

#### 2.1.1 Situación problemática

Los frutos y vegetales son organismos vivos que continúan respirando y transpirando después de la cosecha. La palta, como otros frutos climatéricos, experimenta cambios bioquímicos rápidos, denotados en su apariencia y composición. Muchos cambios ocurren desde que la fruta se cosecha hasta que llega al consumidor, algunos de estos cambios son deseables, y otros son indeseables, por cuanto son alteraciones que se alejan del comportamiento deseado y deterioran la calidad y vida útil del producto.

Según Restrepo (2012), dice que el deterioro de los alimentos ha sido atribuido a una amplia gama de causas incluyendo variables físicas, químicas y microbiológicas. Estos cambios fisiológicos generalmente están acompañados por pérdidas de características sensoriales como sabor, aroma y color, pérdida de vitaminas, deterioro del tejido, disminución de la turgencia y volumen, lo cual conduce a una vida útil muy corta.

Uno de estos daños que causa desviaciones en el comportamiento metabólico del fruto es la temperatura a la que están expuestos



cuando son almacenados, un mal cálculo en el control de la temperatura (la respiración depende de la temperatura, al enfriarlas respiran más despacio y se degradan menos.) ocasiona que estos no mantengan su frescura y pierdan totalmente su valor comercial.

Según la Dra. Trejo (2010) Dice que una temperatura de almacenamiento incorrecta trae como consecuencia una baja en la calidad del producto y un tiempo más corto de vida útil del producto.

FRUTO	Temperatura Crítica (C°)	Síntomas
<i>Palta</i>	4.5 - 13	Pardeamiento en la pulpa.
<i>Guayaba</i>	4.5	Daño en la pulpa, superficies podridas.
<i>Limón</i>	11 - 13	Picado en el flavedo, manchas rojas.
<i>Mango</i>	10 - 13	Decoloración piel, maduración.
<i>Melón</i>	7 - 10	Picado, podredumbre, decoloración.
<i>Naranja</i>	3	Picado y manchas oscuras.
<i>Plátanos</i>	11.5 - 13	Color opaco, maduración anormal.
<i>Papaya</i>	7	Picado, pérdida de aroma.
<i>Piña</i>	7 - 10	Áreas verdes cuando madura.
<i>Toronja</i>	10	Escaldado, picado.

Figura 1 (Trejo, 2010) Importancia de la cadena de frío en frutos tropicales y subtropicales.

Por ello, al ser un fruto sensible a daños por frío, se debe tener almacenada en condiciones adecuadas, a una temperatura óptima que contribuya a conservar su calidad, prolongar su vida, mantener su firmeza y su buen aspecto. Estas características pueden mantenerse por períodos prolongados en condiciones específicas, a través de un adecuado manejo post-cosecha.





Bower (2005), Dice que el objetivo del almacenamiento en frío es llevar la fruta a un estado de actividad fisiológica reducida, para mantener la firmeza y la calidad hasta que esta sea removida del almacenamiento en frío, para luego así retomar su funcionamiento fisiológico normal, luego de llevarla a la temperatura ambiente y ser capaz de madurar normalmente.

La rápida disminución de la temperatura de los frutos, luego de la cosecha, es un factor muy importante para que estas se mantengan con la calidad requerida para el consumo por un tiempo mayor, lo que también garantiza que el tiempo de comercialización y de exposición en los supermercados sea mayor.

Según el informe de la FAO (FAO, 2014) sobre las pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe (ALC), la

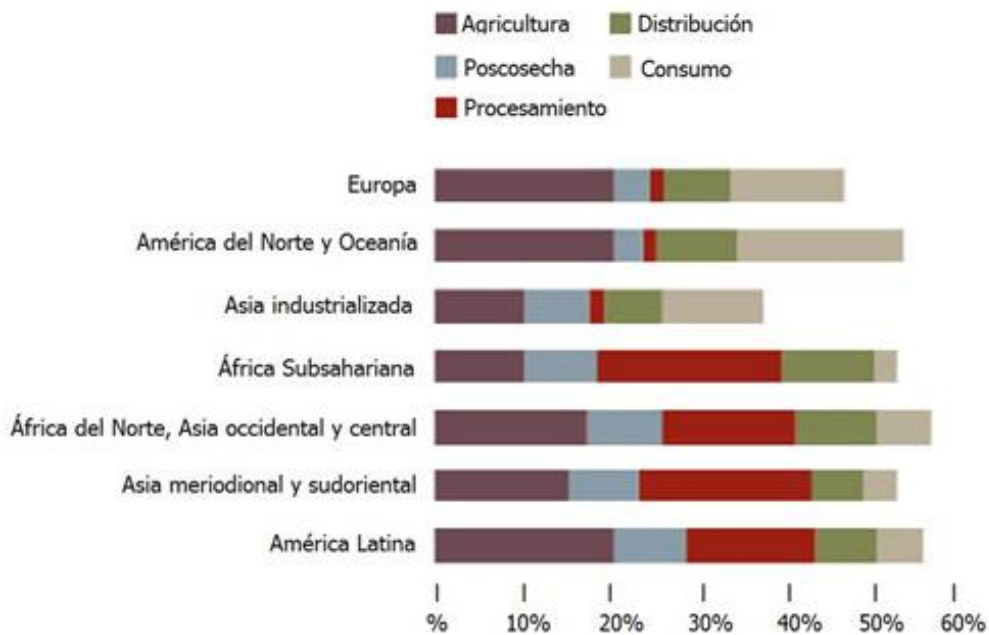


Figura 2 (FAO, 2014). Pérdidas de frutos y hortalizas a nivel mundial.



región pierde o desperdicia por lo menos el 15% de sus alimentos disponibles: 28% en consumo, 28% en producción, 22% en manejo y almacenamiento, 17% en mercado y distribución y 6% durante el procesamiento.

La refrigeración es un método que permite la conservación natural del fruto durante un tiempo prolongado, pero para poder mantener esas condiciones hasta la fase última del consumo debe existir un valor de temperatura determinado y no simples aproximaciones.

Como técnicas para calcular los tiempos de refrigeración se ha tomado como referencia figuras geométricas que se asemejan a una fruta, este tipo de cálculo lleva dificultades considerables, pero haciendo ciertas modificaciones se puede hacer un cálculo aproximado de exactitud.

Baird y Gaffney (1976), Señalan que frutas de geometrías diferentes se manifiestan de forma diferente ante los procesos de enfriamiento, cuando están sometidas a condiciones muy parecidas.

El tiempo de enfriamiento de los productos está relacionado con el número de Fourier ( $Fo$ ), que es un número que define la relación que existe entre la dimensión característica del cuerpo o producto ( $R$ ) (sea el radio en los productos esféricos, o el largo en los cilíndricos) y

magnitud de la disipación o difusión del calor ( $a$ ), en un determinado tiempo ( $t$ ). Según Holman (1986), el número de Fourier puede ser definido entonces como:  $Fo = at/R^2$ . Como se puede observar en la relación anterior, la influencia de la dimensión de los productos es indirectamente proporcional al tiempo necesario para su enfriamiento.

Por ejemplo, frutos con geometría próxima de esferas alcanzan el tiempo de enfriamiento más rápidamente que frutos con geometría próxima de cilindros, pues la relación área-volumen de los cuerpos esféricos es menor que la de los cuerpos cilíndricos.

Diversos investigadores propusieron sus modelos basados en factores de forma, por ejemplo, Pham (1991), estableció un modelo para calcular tiempos de enfriamiento de productos basado en formas elipsoidales. Así mismo Hossian, Cleland, & A.C. (1992) desarrollaron una expresión para factor geométrico con formas elipsoidales aplicando soluciones analíticas, ampliándolo posteriormente a tres dimensiones.

Según Heldman y Hartel (1997) establecieron valores estándares para las constantes, para tres formas de productos más comunes como son: El plato infinito, el Cilindro Infinito y la Esfera. Se puede observar que productos con una forma más esférica, tendrán menores

tiempos de enfriamiento que los productos con una forma cilíndrica; y los productos con forma cilíndrica tendrán valores de tiempo de enfriamiento más bajos que los productos con forma de placa. Como se puede observar, los modelos para calcular tiempos de congelamiento toman como referencia la forma del producto, sin embargo, estos cálculos son aproximaciones basadas en figuras geométricas conocidas como esferas, elipses, cilindros, por lo tanto, los resultados corresponden a aproximaciones. Se sabe que los productos agroindustriales en especial, las frutas (la palta) se aproximan a figuras geométricas conocidas, pero tienen múltiples variantes en sus formas, incluso algunas poseen pepa, por lo que un cálculo de enfriamiento no estaría siendo el adecuado.

Como vemos al emplear figuras geométricas para calcular la temperatura de enfriamiento según la forma del fruto, posee limitaciones y eso es un gran problema.

Es por ello que esté presente proyecto pretende reconstruir la forma real de la palta en tres dimensiones, mediante imágenes tomográficas tomadas del fruto de la palta, empleando la técnica de reconstrucción 3D de Proyección de máxima Intensidad (MIP). El objetivo es lograr una reconstrucción que mantenga sus características físicas (dimensión, volumen y forma) para que así se puedan hacer los



cálculos correspondientes y determinar la temperatura óptima que debe tener el ambiente donde se encuentran almacenados para mantener su frescura y su vida útil.

Para poder conseguirlo, se presenta uno de los problemas que debemos resolver para obtener imágenes tridimensionales, que es el de intentar ver una imagen en tres dimensiones (3D) sobre una superficie de dos dimensiones (2D) (pantalla del ordenador, placa.). Aunque la imagen obtenida en la pantalla del ordenador es bidimensional corresponde en la realidad a un volumen.

### **2.1.2 Formulación del problema**

¿Cómo reconstruir una imagen tridimensional (3D) a partir de imágenes tomográficas de frutos con pepa utilizando la técnica de Proyección de Máxima Intensidad?

### **2.1.3 Delimitación de la Investigación**

El proyecto de investigación se realizó en los ambientes del laboratorio de investigación de sistemas inteligentes y seguridad informática (LABSIS) perteneciente a la escuela profesional de ingeniería de sistemas. La investigación es un trabajo en conjunto con la escuela de ingeniería agroindustrial de la universidad y tuvo como colaboradores a nuestro Asesores. El periodo de desarrollo del tema

de investigación se lleva a cabo desde marzo hasta diciembre del 2016. Esta investigación se delimitará solo a la fruta de la palta, ya que es el producto que más exportaron en el Perú este año. Según el periódico titulado “La palta es el producto agroindustrial más exportado” (lunes 15 de agosto del 2016). El Comercio. También por el costo que traería obtener las imágenes tomografías de las diferentes variedades de frutos con pepa que existen.

#### **2.1.4 Justificación e importancia**

C. Bóveda, J. López, and T. Clavel. (2012). Nos dicen que el hacer una reconstrucción 3D con tomografías ofrece representaciones precisas y de alta calidad de un objeto óseo. Entonces, el tener tomografías de frutos con pepa nos ayudará a obtener representaciones en 3D confiables que pueden ser aplicados para determinar la madurez en la línea de procesamiento, permitiendo incluso predecir el momento en que la fruta va a madurar. Esto serviría para almacenar el fruto a una temperatura y humedad óptima que permita conservar su calidad y extender su vida comercial.

Detectar con anticipación la calidad interna (sabor, textura, grado de madurez adecuado) de la fruta es importante, ya que las condiciones del medio, como la temperatura, atmósfera del contenedor, humedad, etc., tienen efecto sobre el fruto e influyen en el desarrollo de



enfermedades post-cosecha de origen patológico, pero también desordenes fisiológico. Los factores del medio de almacenamiento pueden interactuar de diversas formas, lo que lleva a que la interpretación de sus efectos puede ser un problema complejo.

Según J. Álvarez, J. Herrera and M. Olgún (2010), Las técnicas como las proyecciones de máxima intensidad (MIP), las reconstrucciones de superficie sombreada (SSD) y reconstrucciones de volumen (VR), permiten conocer con mayor precisión la relación de los órganos o patologías estudiadas con respecto a las estructuras anatómicas adyacentes. La técnica de reconstrucción volumétrica (VR), muestra una mejor iluminación, color e interacción de movimiento en su imagen reconstruida. Proporciona una visualización de volumen de estructuras tridimensionales fácil y rápida. Reconstruye y muestra modelos 3D translúcidos que permiten realizar un diagnóstico más fiable.

### **2.1.5 Limitaciones de la Investigación**

Las limitaciones que se presentaron fueron en el costo económico de las tomografías, ya que el uso del tomógrafo se multiplicaría por la cantidad de frutos a evaluar y la disponibilidad del equipo necesario para obtener los cortes.



### 2.1.6 Objetivos

#### Objetivo general

Reconstruir una imagen 3D a partir de imágenes tomográficas de frutos con pepa

#### Objetivos específicos

- a) Desarrollar estrategia de adquisición de imágenes de tomográficas para frutos con pepa.
- b) Seleccionar algoritmos de pre-procesamiento en las imágenes tomográficas.
- c) Seleccionar algoritmos de segmentación en las imágenes Tomográficas.
- d) Evaluar algoritmos de reconstrucción 3D.

## II. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Antecedentes de la investigación

Se han recopilado investigaciones nacionales como internacionales sobre la reconstrucción 3D, donde se ve la importancia que tiene no solo en la medicina sino también en Agroindustria.

En las investigaciones internacionales tenemos a:



Masero (2015, España), En su tesis *“Una nueva metodología de segmentación de imágenes basada en contornos activos. Aplicación a la segmentación de imágenes médicas para la reconstrucción tridimensional de estructuras anatómicas”*. Cuyo objetivo principal es desarrollar una metodología para la reconstrucción tridimensional de estructuras anatómicas a partir de imágenes médicas con las que se pudiese obtener posteriormente modelos tridimensionales.

Dentro del proceso completo de reconstrucción tridimensional, una de las fases más importantes y complejas es la segmentación de cada una de las imágenes. Por lo que se puso más énfasis en esta fase, ya que el resultado de esta fase determina en gran medida la precisión de los modelos tridimensionales y, por tanto, de las imágenes tridimensionales finales que se mostraran al profesional sanitario encargado de interpretar dichas imágenes.

Se utilizó un nuevo método de segmentación basado en contornos activos que se le denominó Contornos Activos Auto-Reconfigurables (CAAR), que son un tipo de contornos activos que se ejecutan en dos fases.

Esta metodología se basa en detectar automáticamente las zonas en las que no se ha obtenido un buen resultado y elegir posteriormente, también de forma automática, la estrategia óptima a utilizar en cada zona teniendo en cuenta las particularidades de cada zona, por lo que

es frecuente que en cada zona se aplique un algoritmo corrector diferente.

El hecho de utilizar varios tipos de contornos activos dentro del algoritmo de segmentación CAAR, le permite que pueda adaptarse a una gran variedad de situaciones diferentes.

Para comprobar la exactitud de los resultados arrojados por la metodología desarrollada, se ha comparado de forma experimental con varios tipos de algoritmos de contornos activos ya existentes, entre ellos, el algoritmo clásico (de Kass, Witkin Terozopoulos), Balloon, Bernard, Caselles, Shi, Li, Chan, Lankton, y en todos estos casos se han obtenido mejores resultados con el nuevo tipo de contorno activo propuesto, los CAAR.

Como conclusión se puede decir que los CAAR, al utilizar varios tipos de contornos activos, permiten ser utilizados en gran variedad de situaciones diferentes, lo que permite adaptarlos a un ámbito o a otro, simplemente cambiando los algoritmos de contornos activos utilizados dentro del CAAR.

Como comentario personal mencionaré que la propuesta innovadora basada en contornos activos es de gran ayuda, ya que las técnicas clásicas de segmentación de imágenes médicas suelen fallar por

diversas circunstancias, y lo que se pretende lograr es, obtener contornos de calidad que definan las estructuras anatómicas de interés para que haya una reconstrucción 3D más fiable.

Molina, CA. (2014, España), En su tesis *“Reconstrucción 3D de racimos de bayas de uva de vinificación basada en detección de elipses sobre imágenes de estéreo-visión”*. Cuyo objetivo principal es la estimación del tamaño del racimo de uva, con el que se establece un proceso automático de clasificación de racimos de uva, por tamaño, mediante el uso de técnicas de visión, 2D y 3D. Para la consecución del objetivo se trató la problemática de la detección de elipses respecto del caso más simple, que es la detección de círculos, pasando por el procesamiento de imagen para realzar las características a detectar, que en este caso serán los bordes de bayas de uva.

La detección se hace sobre un par de imágenes estéreo, capturadas con una cámara dotada con sistema estereoscópico, por lo que existirán para cada una de las bayas detectables una elipse (o círculo) izquierdo y derecho. Para lograr que las parejas de elipses correspondan a una misma baya se propone seguir un algoritmo de emparejamiento, que se basa en las características geométricas y de aspecto de las bayas.

Obtuvo como resultado de la prueba de 10 racimos de diferentes clases de uva, que la precisión en la detección en posición y radio es mejor en

círculos que en elipses, aunque en cuanto a la estimación del tamaño de baya son similares.

Como conclusión final se puede decir que la reconstrucción basada en detección de círculos es superior a la que se basa en elipses, siempre que, los objetos a detectar sean lo más esféricos posibles, como sucede en la mayoría de bayas de los racimos con los que se trató. Por lo tanto, cuando menos esféricas sean las bayas o más bien sus proyecciones en imagen, peor será la reconstrucción basada en círculos y mejor será la que se basa en detección de elipses.

Como comentario personal podría decir que es tipo de método ayuda mucho en lo que respecta a la tarea de inspección y clasificación del producto, ya que en la actualidad para estimar la calidad de la uva requieren costosos análisis destructivos o están sujetos a la subjetividad del factor humano, haciendo este proceso una tarea complicada para medir la calidad de la uva. Mediante el aprovechamiento de la información 2D y 3D se pretende desarrollar una herramienta que inspeccione los racimos de uva para determinar su calidad, de forma que sea la mejor uva la que se utilice en la elaboración de vinos.

López (2013, España), en su investigación *“Desarrollo de un modelo tridimensional de ventrículos humanos anatómicamente detallado para simulación de electrofisiología cardíaca”*. Cuyo objetivo

fundamental consistió en el desarrollo de un modelo bi-ventricular 3D anatómicamente realista y detallado, orientado a su uso en la simulación multiescala realista de electrofisiología cardíaca. Se trata de un modelo humano que se construirá a partir de imágenes de DE-MRI tomadas *in-vivo*, en el que se incluirá una región de isquemia crónica con *núcleo* y *zona de borde*, así como el SCC ventricular y la orientación de fibras

La realización de estudios y/o experimentos *in-vivo* muchas veces resulta complicada, peligrosa o incluso imposible. En cambio, la realización de experimentación *in-silico* (hecho por computadora) por medio de la simulación computacional de la electrofisiología cardíaca no presenta tales limitaciones. Además, la simulación proporciona un marco de experimentación mucho más controlable y manejable, donde todos los parámetros están bajo el estricto control del simulador/experimentador.

Como conclusiones finales se puede decir que el modelo propuesto es uno de los modelos humanos con mayor grado de realismo y detalle anatómico desarrollados hasta la fecha, y más teniendo en cuenta que procede de imagen médica *in-vivo*. Además, cuenta con todos los elementos necesarios para llevar a cabo simulaciones electrofisiológicas realistas.



Horna (2010, México) en su tesis *“Reconstrucción 3D Multi-Ocular”*.

El objetivo principal es la reconstrucción 3D empleando dos imágenes fotográficas tomadas de diferentes ángulos para lograr la representación del escenario, siendo de ayuda para la realización de aplicaciones como: Generación de mapas, paseos virtuales, navegación mencionando algunos.

Unos de los problemas que pueden surgir para la reconstrucción 3D sería la disparidad de las imágenes al no haber una correspondencia perfecta entre las imágenes. Se propone utilizar un tipo de técnica distinta a las tradicionales que utilizan las figuras geométricas para calcular la profundidad de un objeto en una escena.

La técnica de reconocimiento de patrones en esta investigación será utilizada para mejorar el proceso de correspondencia. Utilizada para el aprendizaje de la relación que existe entre los niveles de intensidad de los píxeles de una imagen digital y la profundidad a la que están los puntos de los objetos presentes en una escena dada.

En la investigación se muestra más dedicación al resultado obtenido del cálculo del mapa de disparidad, siendo de importancia porque la profundidad de los objetos en un escenario depende de la disparidad. Por este motivo se puede asegurar que el problema de reconstrucción



3D se resuelve una vez que se ha obtenido un mapa de disparidad que tenga una calidad aceptable.

Entre otros trabajos de investigación también tenemos del medio nacional, entre ellos:

Ige (2010, Perú), con su investigación “*Tomografía Computarizada Volumétrica: Cone Beam*”, donde el objetivo es la determinación de las bases sobre la tomografía computarizada volumétrica, ya que en el Perú este sistema no es muy conocido, teniendo en cuenta que en el futuro se importarán nuevos sistemas imaginológicos para el desarrollo de la odontología en nuestro país.

El conocimiento de esta tecnología es muy importante debido a que en futuro se adquirirán más tomógrafos computarizados volumétricos que son muy importantes para el área maxilofacial y dental ya que tienen la capacidad de obtener una resolución submilimétrica y precisa. Los especialistas en el área de radiología oral y maxilofacial tendrán mucha más demanda de trabajo para la interpretación y toma de este tipo de imágenes.

Se debe de tener en cuenta que el campo visual debe ser utilizado con criterio para las necesidades del diagnóstico posterior. La imaginología de 3 dimensiones nos llevara a observar muchas cosas que para la



mayoría de odontólogos han estado escondidas para los buenos diagnósticos.

Tenemos también a López (2014, Perú), con su investigación “*Análisis de cuerpos no rígidos usando algoritmos de difusión para la detección de simetría en modelos 3D*”, donde el objetivo es el desarrollo de un nuevo algoritmo para encontrar key components y detectar simetría en cuerpos no rígidos.

Se presentaron 3 nuevos algoritmos. El primero, al cual denominamos, Minimal area interest point, permite detectar key points o puntos de interés mediante un algoritmo eficiente, es decir de complejidad computacional lineal respecto al número de facas de la triangulación del modelo.

El segundo algoritmo que propusimos, permite detectar key components basado en procesos de difusión y fue comparado con el método propuesto por Ivan Sipiran, quien acuñó el término de key components para referirse a regiones del modelo que representan altas protusiones en la estructura.

Finalmente, el tercer algoritmo propuesto, permite detectar la simetría mediante procesos de difusión. En nuestros experimentos, encontramos que la detección de simetría funciona correctamente para



el caso de modelos con simetría extrínseca, tanto para la distancia geodésica, como con la distancia por difusión. Sin embargo, nuestro algoritmo, utilizando distancia geodésica falla al encontrar la simetría en cuerpos no rígidos, es decir con simetría intrínseca.

Se propuso nuevos algoritmos para detectar simetría en cuerpos no rígidos, el cual implicó tener en cuenta varios aspectos como, la cantidad de puntos que forman la malla del objeto, la cantidad de triángulos y las técnicas utilizadas para encontrar simetría en el objeto.

### 3.2 Estado del Arte

Ince (2015), en su investigación “*The new approach to sport medicine: 3-D Reconstruction*”. El objetivo de este estudio fue presentar un nuevo enfoque de la medicina deportiva. Se realizó un estudio detallado de las vértebras lumbares a los atletas de Muay Thai, mediante la reconstrucción 3D de las secciones de imágenes que se obtuvieron a través del método fotogramétrico de Tomografía Computarizada Multidetector (MDCT).

Este tipo de enfoque apoyaría a los ortopedistas y neurólogos para ofrecer un tratamiento terapéutico adecuado, facilitando el diagnóstico y el análisis de las formaciones patológicas (exocitosis vertebral, hernia, etc.) de los huesos.

Por otra parte, se considera que este tipo de modelos de reconstrucción 3D también contribuiría en las intervenciones quirúrgicas en caso de lesiones graves en los atletas de Muay Thai. También se espera que el método utilizado en esta investigación y los datos adquiridos por medio de este método, serán para ampliar el punto de vista y proporcionar un enfoque educativo innovador para los estudiantes de anatomía, así como los estudios anatómicos en el futuro. Por otra parte, esta investigación se realizó para hacer una considerable contribución al campo de la medicina deportiva.

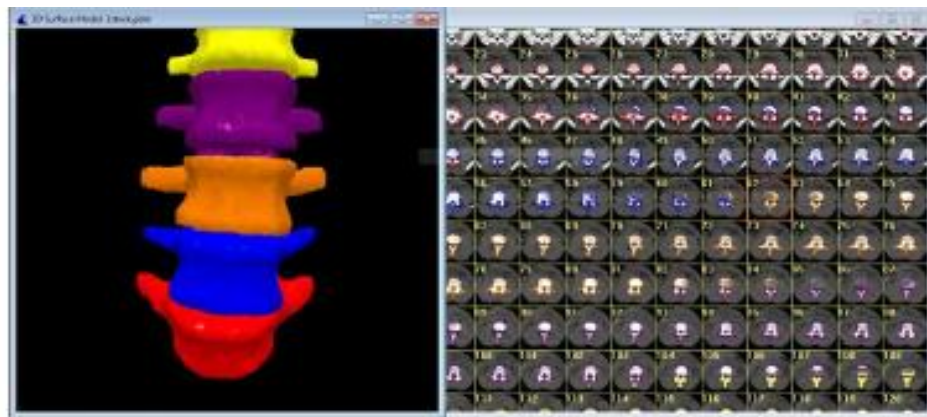


Figura 3 (Ince, 2015). Reconstrucción de la imagen 3D de la vértebra lumbar.

Li, J., Nie, L., Li, Z., Lin, L., Tang, L. & Ouyang, J. (2012), en su investigación “*Maximizing Modern Distribution of Complex Anatomical Spatial Information: 3D Reconstruction and Rapid Prototype Production of Anatomical Corrosion Casts of Human Specimens*”. Tuvieron como objetivo sustituir los moldes de corrosión anatómicas de muestras humanas (son medios de enseñanza útiles y son importantes para la

educación anatómica, investigación y aplicaciones clínicas.), mediante la digitalización de modelos anatómicos humanos a través de la reconstrucción en tres dimensiones (3D), la producción de prototipos físicos, y la construcción del atlas anatómico 3D basado en Web.

Se utilizó el software Mimics que sirve para la reconstrucción de un objeto 3D a partir de los datos 2D (es decir, CT, MRI) con un alto nivel de precisión

La reconstrucción 3D del pulmón se realizó usando un método híbrido, por umbralización de imagen y crecimiento de regiones. " Las finas estructuras del árbol bronquial, arterial, y la red venosa del pulmón se muestran claramente en la reconstrucción 3D demostrando sus relaciones distintas.

Los modelos 3D fueron luego cargados en una impresora de prototipos 3D para duplicarlo en un modelo físico. El modelo físico duplicado del pulmón se vuelve a analizar mediante TC (Tomografía Computarizada) y reconstruido para detectar la precisión de la producción. Por último, Virtual Reality Modeling Language (VRML) se utilizó para editar los modelos 3D para construir "El atlas anatómico 3D" basado en Web, accesible a través de Internet Explorer que permite mover y girar de forma interactiva con el movimiento del ratón los modelos 3D del pulmón.

Por lo tanto, un enfoque digital puede mejorar significativamente el valor educativo de la corrosión anatómica de moldes de muestras humanas.

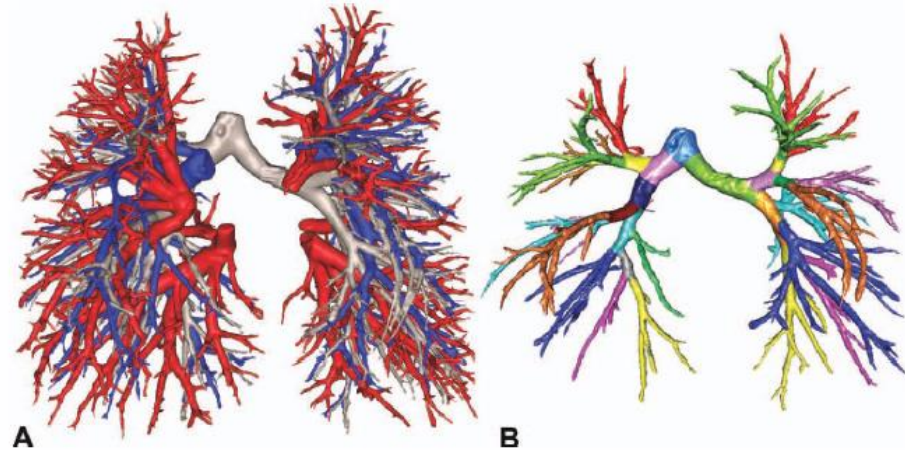


Figura 4 (Li, J., Nie, L., Li, Z., Lin, L., Tang, L. & Ouyang, J, 2012). Modelo 3D interno del pulmón; A, componentes vasculares con bifurcación de la tráquea y divisiones del árbol bronquial; B, divisiones de árbol bronquial.

X. Li, X. Wang, Y. Dai, P. Zhang, (2015), presenta *“La segmentación recursiva supervisada de imágenes volumétricas CT para la reconstrucción 3D de los pulmones y los vasos árbol”*. El objetivo es la reconstrucción 3D de los pulmones y los vasos a partir de imágenes volumétricas CT. Se propone una estrategia recursiva basado en contornos geométricos para extraer los tejidos pulmonares de los cortes tomográficos volumétricos con precisión, tendremos modelos 3D de los pulmones y vasos que se constituyen sobre la base de los conjuntos de datos extraídos y así se podrá obtener una observación y análisis cuantitativo en 3D para las enfermedades pulmonares.

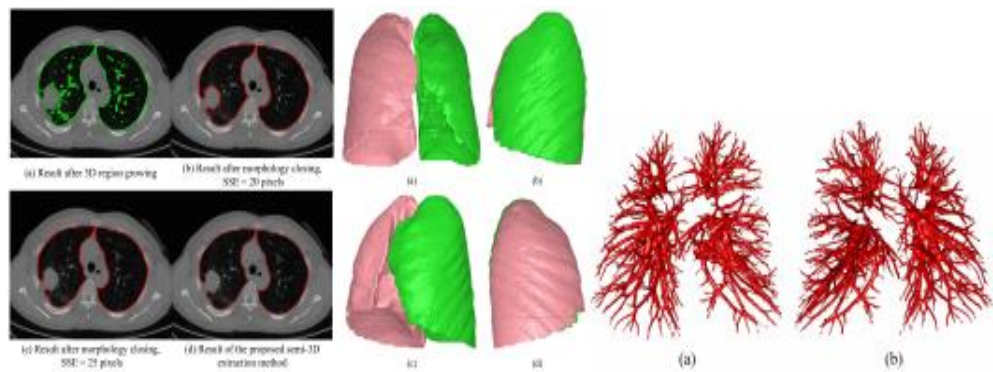


Figura 5 (X. Li, X. Wang, Y. Dai, P. Zhang, 2015). Reconstrucción 3D de los pulmones y vasos utilizando imágenes TC.

## 2.3 Base teórico científicas

### 2.3.3.1 Imagen digital:

#### 2.3.3.1.1 Concepto:

Según (Passariello & Mora, 1995) “Una imagen digital es la representación bidimensional de una imagen real, expresada como una función de la intensidad de luz”, [p. 38]. La imagen es un conjunto de puntos presentados en las coordenadas (x, y), a estos se les llama pixeles, los cuales son una porción pequeña de la imagen. La imagen que normalmente percibimos es resultado de la reflexión de luz sobre los objetos. Esto depende de la iluminación presente en la escena y la reflectancia propia de los objetos



presentes. Como por ejemplo un cuerpo negro en la luz es visible porque no refleja luz alguna.

#### 2.3.3.1.2 Digitalización de imágenes:

Según (Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) “Los sistemas digitales son aquellos capaces de detectar y operar con dos estados lógicos, que llamamos 0 y 1”, [p. 10]. Su rapidez de operación y utilización del sistema binario de numeración, permite que el sistema realice distintas operaciones. La tecnología digital asociado con la informática facilita en almacenar información en diferentes soportes, también permite el mejor tratamiento y análisis de un fenómeno representado en una imagen.

(Passariello & Mora, 1995) nos dicen que “Cuando se habla del procesamiento digital de imágenes se hace referencia generalmente, al procesamiento de imágenes bidimensionales mediante un computador digital”, [p. 36]. Para la digitalización de la imagen se tiene en cuenta un conjunto de elementos, software y hardware para el procesamiento de la señal visual, donde la “imagen real”

pasa por una serie de transformación hasta que llegue a la visualización de dicha imagen.

#### 2.3.3.1.3 Adquisición de imágenes:

(Passariello & Mora, 1995) Nos dicen que para esta etapa se necesitan dos elementos, el primero, un dispositivo sensible a algún tipo de radiación electromagnética (luz visible, rayos x, etc.) que luego se traduzca a una señal eléctrica, y el segundo, un dispositivo digitalizador que convierta la señal eléctrica en cantidades binarias manipulables que vayan al software. Existe un tercer elemento que es opcional, pero de gran utilidad, se trata del pre-procesamiento por hardware que restaura la señal eléctrica y así evitar la alteración de información en ella.

Según (Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) “En el caso de la medicina, las imágenes obtenidas a partir de la interacción de diferentes formas de radiación con los tejidos humanos van a permitir a extracción de información clínica de interés, ya sea estructura o fisiológica” [p. 15]. También existen programas que permiten el modelado tridimensional, pues gracias a contar con modelado de órganos virtuales, permite



obtener de ellos cualquier perspectiva de la región de interés, gracias a la simulación.



#### 2.3.3.1.4 Almacenamiento de imágenes:

(Passariello & Mora, 1995) nos dicen que, “Una vez digitalizada, la imagen es total o parcialmente almacenada en una memoria temporal (memoria de alta velocidad) que sirve de soporte al procesamiento y como puente entre la digitalización y la memoria de almacenamiento permanentemente (memoria lenta)”, [p. 37]. A partir de las señales recogidas y que son transformadas a señales digitales; se puede representar la imagen, todo este cálculo se realiza en la memoria temporal una vez terminado el proceso la información es guardada en la memoria permanente para su posterior utilización, visualización, modificación y almacenamientos posteriores.

#### 2.3.3.1.5 Procesamiento de imágenes:

Según (Passariello & Mora, 1995) “El procesamiento es la realización en software de algoritmos de extracción de la información contenida en las imágenes”, [p. 37]. Después de haber organizado toda la información recogida por el ordenador, gracias a que el ordenador a digitalizado los datos se puede resolver ecuaciones matemáticas correspondientes, pudiéndole otorgar a cada

pixel un valor (correspondiente al coeficiente de atenuación), este número de píxeles corresponde con una escala de grises que nos permitirán reconstruir la imagen.

#### 2.3.3.1.6 Visualización de imágenes

(Passariello & Mora, 1995) estos autores nos dicen que “Dado que los monitores de video son los dispositivos principalmente utilizados en visualización, es necesario la información digital en una señal analógica compatible con estos dispositivos”, [p. 37]. Una vez que el ordenador ha efectuado todo su trabajo, se precisa de un convertidor de señales digital a analógico para volver a transformar los resultados del ordenador en señales eléctricas que puedan visualizarse en el monitor de televisión.

#### 2.3.3.1.7 Tipos de imágenes digitales:

##### 2.3.3.1.7.1 Mapa de bits:

(Publicaciones Vértice, 2008) afirman que “Un mapa de bits no es otra cosa que una imagen formada por un conjunto de puntos (píxeles) cada uno de los cuales, con sus propias características, color y/o textura”, [p. 4]. Cada punto tiene designado un color y unidos todos esos puntos forman la imagen. Si ampliamos el tamaño de la imagen perderá su calidad, al hacer ese acercamiento podremos apreciar con más claridad lo que es el mapa de bits. La cantidad de puntos

(píxeles) que tenga el mapa de bits determinara su tamaño y su resolución.

#### 2.3.3.1.7.2 Imágenes vectoriales:

(Alcalá & Navarro, 2008) afirman que “Las imágenes vectoriales son aquellas que se construyen a partir de unos objetos generados matemáticamente, que son los vectores”, [p. 41]. Estos vectores son un conjunto de puntos, estos puntos individualmente se les conocen como nodo y son atravesados por un manejador que se les puede comparar a las manecillas de un reloj, estos nos permitirán manipular la línea, podremos moverla o estirla de manera simple y sin distorsión hasta obtener el contorno deseado.

Describimos que es una imagen digital, el procesamiento digital de una imagen real y los tipos de imágenes digitales que existen, pero entre otras imágenes digitales existentes también contamos con imágenes médicas.

#### 2.3.3.2 Imágenes médicas:

##### 2.3.3.2.1 Concepto:

(Passariello & Mora, 1995) nos relatan “El hecho ocurrido cuando el físico Willian Conrad Röentgen al experimentar

con un tubo de rayos catódicos recubierto con papel negro y en una sala oscura, observo que un papel de platinocianuro de bario que casualmente se encontraba en la cercanía, se ilumino. Ha este tipo de radiación se le denomino Rayos X”, [p. 1]. El profesor notó que el rayo también pasaba a través de otros materiales, incluyendo carne humana. De hecho, por el descubrimiento de la radiación X, hoy en día existe una rama o especialidad médica especialmente dedicada a las aplicaciones y desarrollo de los rayos X: la radiología.

Este gran avance para la medicina nos permite el día hoy obtener imágenes internas del cuerpo, observar la estructura ósea, el estudio de los huesos del cuerpo humano y entre otras cosas, la detección y el entendimiento de numerosas enfermedades.

Los rayos X se dejaron de utilizar ya que causaban daños a los tejidos al estar expuestos a altas dosis de radiación y se buscó otros procedimientos para hacer este tipo de diagnósticos utilizando el mínimo de radiación o de ser posible sin ellas. Así surgieron la Tomografía Computarizada (TC), el Ultrasonido, la Resonancia

Magnética (RM), la Medicina Nuclear y otros procedimientos que aparecieron.

#### 2.3.3.2.2 Tipos de imágenes médicas:

##### 2.3.3.2.2.1 Rayos x:

(Tucci, 2010) Nos dice que los rayos X son ondas invisibles de energía (radiaciones electromagnéticas) con capacidad para atravesar la piel y los músculos, pero que resultan absorbidas por sustancias más densas como el metal o los huesos. Sin embargo, la exposición a los rayos X por un tiempo prolongado, puede dañar las células orgánicas. Entre los tipos de rayos X tenemos:

##### 2.3.3.2.2.1.1 Radiografía:

Según (Tucci, 2010) “Es una imagen permanente en una placa o película fotografía que se obtiene al exponerla a una fuente de radiación X o gamma”, [p. 49]. Es una técnica de imagen médica muy habitual que utiliza los rayos X. Permite la visualización de un órgano, un hueso o una parte del cuerpo, sobre una pantalla de

ordenador y puede ser imprimida sobre una película fotográfica. Este examen completamente indoloro puede ser utilizado por todas las especialidades médicas para precisar un diagnóstico. Las radiografías se solicitan a menudo, entre otras cosas, para buscar una fractura en caso de un traumatismo, para el estudio de los pulmones (radiografía de tórax) o para visualizar el abdomen a través de la llamada ASP o Abdomen Sin Preparación. Las mujeres embarazadas no deben ser expuestas a los rayos X, excepto en casos de emergencia.

#### 2.3.3.2.2.1.2

#### Fluoroscopía:

Según (Tucci, 2010) “Es una técnica no invasiva frecuentemente empleada en medicina para obtener imágenes en tiempo real de las estructuras internas del cuerpo”, [p. 57]. Es una forma de diagnóstico radiológico que a través de rayos X y con la ayuda de un agente o medio de contraste,

permite al médico visualizar el órgano o área de interés.

La fluoroscopia se utiliza en muchos tipos de exámenes y procedimientos diagnósticos, en los rayos X con bario, la fluoroscopia le permite al médico ver el movimiento de los intestinos a medida que el bario (medio de contraste) los recorre.

#### 2.3.3.2.2.1.3

#### Angiografía:

(Passariello & Mora, 1995) nos dicen que “Es un procedimiento radiológico para observar los vasos sanguíneos del cuerpo (angios)”, [p. 10]. Es un examen de diagnóstico por imagen cuya función es el estudio de los vasos circulatorios que no son visibles mediante la radiología convencional.

Destacan la angiografía cardiaca para observar las arterias coronarias, la





angiografía para estudiar la irrigación del cerebro, la vascular periférica, etc.

A pesar del crecimiento de métodos como el ultrasonido, TC y RM hasta ahora no han podido reemplazar la angiografía.

#### 2.3.3.2.2.1.4

#### Mamografía:

Según (Tucci, 2010) “Se diferencia de la convencional en que la imagen, en lugar de ser captada y almacenada en una placa fotográfica, es adquirida por medio de un detector digital de rayos X y es almacenada en la memoria de un computador”, [p. 36]. Se obtiene con menos dosis de radiación, es de fácil almacenamiento, presenta mejor tiempo para examinarla y es tan precisa como la convencional, pero su costo es de 1,5 a 4 veces mayor.

La mamografía digital es el método más eficaz para la detección temprana de cáncer, lo cual es esencial para un

tratamiento efectivo, además las imágenes pueden ser fácilmente remitida a otros especialistas.

#### 2.3.3.2.2.1.5 Radiología:

(Passariello & Mora, 1995) afirman que “La radiología sigue siendo en la actualidad el procedimiento más ampliamente usado y difundido de generación de imágenes del cuerpo”, [p. 1]. La Radiología es un área de la medicina que permite obtener imágenes del cuerpo con la finalidad de identificar anomalías que expliquen los síntomas como parte del proceso del diagnóstico, permite además efectuar intervenciones con fines de tratamiento al guiar los procedimientos e incluso usar las radiaciones como tratamiento. Es un área médica altamente especializada que se apoya directamente sobre la tecnología.

#### 2.3.3.2.2.1.6 Radiología digital (RDL):

(Passariello & Mora, 1995) nos dicen que “Desde hace tiempo se aspira reemplazar la radiografía convencional, por sistemas digitales”, [p. 7]. La radiografía digital por luminiscencia (RDL) o radiografía mediante sustancias fluorescentes de memoria, utiliza placas de fosforo fotoestimulables reutilizables, una vez que el lector digitaliza la imagen tiene un tiempo límite de duración. Acabo de 24 horas la imagen está en un 70 %, es recomendable que la lectura sea antes de una 1 hora después de la exposición, se podría decir que esta es una desventaja al emplear esta técnica.

#### 2.3.3.2.2.2 Tomografías:

Según (Belin, Khachikian & Ambrósio, 2012) nos dice que tomografía “Se deriva de las palabras griegas “cortar o seleccionar” (tomos) y “escribir” (graphein)”, [p. 22]. Es procesar diferentes secciones de imágenes. Involucra la proyección de

datos de diferentes direcciones. Entre los tipos de tomografías tenemos:

2.3.3.2.2.1 Tomografía por impedancia Eléctrica (TIE):

Según (Passariello & Mora, 2010) “Es una técnica para obtener la distribución de la conductividad eléctrica (real o compleja) de algún cuerpo o medio”, [p. 32]. La información de la conductividad se obtiene a partir de mediciones de voltaje y/o corriente obtenidos en la periferia de la región estudiada como resultado de la inyección de voltajes o corrientes externamente aplicados, de amplitud y frecuencia específica, a través de electrodos adheridos a la superficie del cuerpo en cuestión. El objetivo final es obtener imágenes de dicha distribución de conductividad mediante la aplicación de algoritmos matemáticos a los datos obtenidos.

Los diferentes tejidos del cuerpo humano exhiben una gran variedad de conductividades, y por esto es que existe un gran potencial en el uso del TIE para obtener imágenes médicas de órganos y procesos fisiológicos. Se sabe, por ejemplo, que la conductividad de la sangre cambia con la variación de su flujo, y el aire, sangre u otro líquido en un órgano pueden afectar su conductividad.

#### 2.3.3.2.2.2

#### Tomografía Computarizada (TC):

(Tucci, 2010) afirma que “Es una técnica de diagnóstico utilizada en medicina para explorar el cuerpo humano”, Permite obtener imágenes de cortes milimétricos perpendiculares respecto al eje céfalo-Caudal, por ese motivo también se le conoce como Tomografía Axial Computarizada (TAC).

La imagen tomografía se llama corte o sección, cada corte se le podría comparar a una tajada de pan, porque ambos tienen un espesor. De la misma forma que se reconstruiría un pan, apilando ordenadamente las diferentes tajadas, se construye un volumen del cuerpo.

Detecta enfermedades hepáticas, pulmonares, vasculares, coronarias, tumorales, cáncer, apendicitis, aneurismas entre muchas otras. La detección temprana del cáncer es una de sus mayores ventajas; el cáncer pancreático, por ejemplo, es una enfermedad severa si no es detectada a tiempo.

La imagen tomográfica apoya al médico a evaluar correctamente y permite al cirujano tomar decisiones acertadas, por lo que disminuyen considerablemente los costos de diagnósticos. Esta técnica representa un ahorro, disminuyendo las

operaciones innecesarias, hasta tal punto que el 30% de las intervenciones de apéndices podrían evitarse.

#### 2.3.3.2.2.2.1

#### Tomografía Computarizada Convencional:

(Gonzales, 2011) comenta que “El tubo y los detectores están ubicados en lados opuestos de un anillo que rota alrededor del paciente.” [p.17]. En la tomografía computarizada convencional se adquiere en cada rotación una serie de imágenes, a través de una región específica, después de cada rotación el escáner debe detenerse para que avance la mesa del paciente hasta la siguiente posición preestablecida y realizar el nuevo corte. Los datos de cada nivel se almacenan por separado. La exploración en la TC convencional puede durar varios minutos, según la



región corporal y el tamaño del paciente.

#### 2.3.3.2.2.2.2

Tomografía Computarizada Unicorte:  
(Gonzales, 2011) menciona que “La tecnología del anillo libre en el diseño permitió el surgimiento de los tomógrafos helicoidales”, [p. 17]. Se liberó el impedimento que había entre los cables de energía y el tubo de rayos X, permitiéndose así, que rotara simultáneamente el tubo de rayos X, junto con ello también la camilla donde estaba el paciente también se movía de manera continua. En estos equipos también se pueden obtener reconstrucciones de gran calidad en cortes coronales, sagitales y oblicuos.

#### 2.3.3.2.2.2.3

Tomografía Computarizada  
Multicorte:

(Gonzales, 2011) nos dice que “Los Tomógrafos Multicorte pueden tener



hasta 64 columnas activas de detectores”, [p. 17]. Esto significa que el escaneo puede ser más rápido e hizo posible la adquisición simultánea de perfiles de un gran número de secciones.

Además, el tiempo de rotación se redujo desde 1-2 s, típicos en equipos de corte único, hasta valores muy inferiores (0,3-0,4 s). En consecuencia, en estas condiciones es posible escanear prácticamente todo el cuerpo de un adulto en una inspiración con espesores de corte muy por debajo de 1 mm. Con los equipos de TC multidetector las adquisiciones se suelen hacer en modo helicoidal. Las excepciones se dan para TC de alta resolución de, por ejemplo, los pulmones, y la adquisición secuencial en TC cardíaca, ya sea para el cálculo del calcio coronario o para angiografía

coronaria por TC. Alternativamente pueden obtenerse cortes extremadamente finos, hasta de 0.5 cm, lo que no sólo mejora el detalle, sino que facilita la reconstrucción de imágenes de gran calidad.

#### 2.3.3.2.2.2.4

#### Tomografía Computarizada Helicoidal:

Según (Passariello & Mora, 2010) “La tomografía computarizada helicoidal tiene varias ventajas sobre las técnicas antiguas de TC: es más rápida, produce mejores imágenes de tercera dimensión de regiones internas del cuerpo y puede detectar mejores anomalías pequeñas”, [p. 15]. Hasta 1989 sólo se podía adquirir en TC axial. En 1989, la adquisición de datos con el tubo de rayos X rotando continuamente y con la camilla desplazándose simultáneamente dio origen a la adquisición helicoidal o espiral. La introducción de la



adquisición helicoidal ha mejorado considerablemente el rendimiento de la TC. Algunas de las ventajas de la TC helicoidal: se acorta el tiempo de exploración, y se obtiene una información más coherente para reproducir imágenes en 3D del volumen explorado.

La adquisición helicoidal permitió la obtención de datos de un gran volumen del paciente en apnea, lo que constituía un requisito previo para el desarrollo de la angiografía con TC (angio-TC) de alta calidad. El desplazamiento de la camilla se expresa generalmente en relación con la anchura nominal del haz (igual a la anchura de corte en equipos de corte único); el cociente entre el desplazamiento de la camilla en una rotación de  $360^\circ$  del tubo y la anchura nominal del haz se denomina factor de paso o pitch.



### 2.3.3.2.2.3 Resonancia magnética:

(Tucci, 2010) afirma que “Es una herramienta de diagnóstico”, [p. 14]. Utiliza un campo magnético y ondas de radio para obtener imágenes con excelente contraste de los diferentes tejidos blandos, especialmente utilizada para el estudio del cerebro, el sistema musculo esquelético y el cardio vascular. Entre los tipos de resonancia magnética tenemos:

#### 2.3.3.2.2.3.1 Angiografía con Resonancia Magnética (MRA):

Según (Oleaga & Lafuente, 2010) “Trata de crear contraste entre la sangre y el tejido estático”, [p. 1126]. La angiografía es un examen médico que ayuda a los médicos a diagnosticar y tratar enfermedades y condiciones médicas de los vasos sanguíneos. Los exámenes por angiografía producen fotografías de los vasos sanguíneos principales a lo largo del cuerpo y se puede llevar a cabo con una de tres tecnologías de diagnóstico por

imágenes. En algunos casos, se administra un material de contraste.

2.3.3.2.2.3.2 Resonancia Magnética funcional (fMRI):  
(Ordoñez, Del Valle, Sobrino & Montoya, 2014) afirman que “Las imágenes obtenidas mediante RMf nos permiten visualizar las áreas cerebrales funcionales que intervienen en la realización de una tarea específica o ante determinados estímulos”, [p. 4]. La resonancia magnética funcional o fMRI es una técnica que permite obtener imágenes de la actividad del cerebro mientras realiza una tarea. La fMRI no requiere inyección de sustancia alguna, pero requiere que el sujeto se coloque en una máquina en forma de tubo que puede generar ansiedad claustrofóbica.

2.3.3.2.2.4 Ultrasonido:  
(Passariello & Mora, 1995) nos dicen que “Al igual que la resonancia magnética, no hace uso de



radiación ionizante para la obtención de imágenes”, [p. 22]. Esto permite su uso repetitivo, y es más usado para el diagnóstico de mujeres en estado de gravidez y cardiología. Entre los tipos de ultrasonido tenemos:

#### 2.3.3.2.2.4.1 Ultrasonido Doppler:

(Tucci, 2010) nos cuenta que es “Otra técnica, creada para el estudio de órganos en movimiento se basa en el efecto Doppler” [p.134] El ultrasonido doppler constituye un método de diagnóstico de primera línea para los pacientes con patología vascular. Se basa en el efecto doppler, en que la frecuencia del sonido cambia cuando el emisor y/o el receptor se mueven.

En la práctica clínica, el doppler se utiliza para evaluar el flujo sanguíneo por medio de la medición del movimiento de los glóbulos rojos, permitiendo obtener información respecto a la permeabilidad

vascular, el sentido del flujo, presencia de estenosis, resistencia vascular distal y vascularización de las lesiones.

#### 2.3.3.2.2.4.2

Elastografía:

Según (Tucci, 2010) “Es una forma rápida y certera de evaluar si una lesión, palpable o no palpable, es benigna o maligna y evita someter la paciente a la biopsia”, [p. 12]. A través de la elastografía podemos realizar mediciones de la elasticidad de los tejidos en imágenes en tiempo real, la cual interpretamos fácilmente a través de una gama de colores. También podemos obtener valores numéricos sobre la elasticidad de una zona a estudiar.

#### 2.3.3.2.2.4.3

Ultrasonografía 4D:

Según (Tucci, 2010) “Se utiliza durante el embarazo, pero no en forma rutinaria, solo bajo indicación médica para confirmar el diagnóstico y para obtener imágenes que revelan mayores detalles no observables en



la ultrasonografía normal”, [p. 191]. La ultrasonografía 4D nos enseñará una imagen casi idéntica a cómo será tu pequeño cuando nazca, con sus expresiones de enfado o alegría, sus gestos más comunes, que te arrancarán más de una sonrisa, y las posiciones en las que se encontrará más cómodo cuando esté durmiendo en su cuna. Desde el punto de vista diagnóstico, la ultrasonografía 4D perfecciona el diagnóstico, pero no es más sensible que la bidimensional a la hora de detectar anomalías fetales. Por tanto, ni la ecografía tridimensional ni la que aporta movimiento suplantán a la ecografía bidimensional, sino que la complementan.

#### 2.3.3.2.2.5 Endoscopia:

Según (Tucci, 2010) “Es un procedimiento de diagnóstico y terapéutico mínimamente invasivo utilizado para observar un órgano hueco o cavidad corporal como tubo digestivo”, [p. 13]. Ente los tipos de Endoscopia tenemos:



#### 2.3.3.2.2.5.1 Endoscopia por cápsulas:

Según (Tucci, 2010) “Es un procedimiento poco invasivo”, [p. 209]. Utiliza una cámara fotográfica del tamaño de una píldora, esta cámara posee su propia fuente luminosa y toma fotos mientras va recorriendo el intestino delgado.

Estas imágenes de video son enviadas a un dispositivo que lleva el paciente sobre su cuerpo. Luego estas imágenes de video posteriormente serán revisadas por el médico, obteniendo información útil de cómo se encuentra el intestino delgado. También se le puede llamar endoscopia del intestino delgado, enteroscopia por capsula o endoscopia inalámbrica.

#### 2.3.3.2.2.5.2 Cromo endoscopia:

Según (Tucci, 2010) “Es una técnica de diagnóstico endoscópico utilizada para la detección de lesiones tempranas o en estadios con potencial curativo de

pequeños canceres, que de otra manera pasarían desapercibidos al endoscopista”, [p.211]. Se aplica colorantes que son vertidos en la mucosa intestinal, usualmente se utiliza el color azul de metileno e índigo carmín para resaltar las áreas mucosas que puedan tener algún tipo de lesión y que podrían pasar desapercibidas en las colonoscopias habituales. Una vez que se encontró algún tipo de anomalía se toma muestras de todas las lesiones visualizadas. Esta técnica se emplea mucho para la detección y tratamiento precoz de estas lesiones y así evitar su avance a lesiones malignas.

Existe una variedad de imágenes médicas, con diferentes tipos de características, entre ellas también cuentan con diferentes tipos de estándares no solo de imágenes médicas sino, también hablaremos de algunas imágenes estáticas.

#### 2.3.3.3 Estándares de imágenes:

##### 2.3.3.3.1 Join Photographic Experts Group (JPEG):

Según (Esqueda & Palafox, 2005). “Es un estándar para la compresión de imágenes”. [p. 97], Es un método de compresión simétrico, que desarrollo una forma de almacenar imágenes digitales para la mejor percepción visual humana. Este estándar describe un conjunto de técnicas de compresión de imágenes estáticas con una tonalidad que varía en según escala de grises o color (24 bits).

#### 2.3.3.3.2 Fractals Images Format (FIF):

(Ferrer, 2001) nos dice que es “Formato registrado que está basado en la teoría fractal y que genera compresiones con pérdidas de 200:1”, [p. 29]. En español llamado formato de imágenes fractales, consiste en un método de compresión de imágenes digitales con perdida, basado en fractales o imágenes geométricas donde algunas de sus partes básicas de la estructura se repiten a diferentes escalas.

#### 2.3.3.3.3 Graphics Interchange Format (GIF):

(Ferrer, 2001) nos cuenta que “Probablemente evolucionará hacia el formato PNG para evitar el pago de “royalties” y un mejor manejo de color”, [p. 29]. En

español llamado formato de intercambio gráfico. Es un formato basado en un máximo de 8 colores planos, por lo tanto, no es muy adecuado para imágenes de color real.

#### 2.3.3.3.4 Target Image File Format (TIFF):

Según (Ferrer, 2001) nos dice que es un “Formato registrado para imágenes raster de Aldus y Microsoft”. [p. 29]. Es un formato de fichero dirigido a imágenes, y cuando hablamos de imágenes raster nos referimos a mapa de bits; contiene codificación de datos en ASCII o en binario. Soporta varios tipos de compresiones como el empaquetado de bits, fax grupos III y IV, JPEG, etc.

#### 2.3.3.3.5 Portable Network Graphics (PNG):

(Ferrer, 2001) nos cuenta que es “Para guardar imágenes raster que sean transportables y adecuadamente comprimidas sin pérdidas”, [p. 30]. Tiene como características específicas la profundidad de bits por color, visualización progresiva más rápida además de transparencia.



#### 2.3.3.3.6 Foto de CompactDisc (FotoCD):

Según (Ferrer, 2001) “Es un formato de imagen raster para almacenar un CD-ROM patente de Kodak”, [p. 30].

Es un formato utilizado para CD y utiliza el formato JPEG para codificar las imágenes estáticas.

#### 2.3.3.3.7 Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM):

Según (Del Cura, Pedraza & Gayete, 2010) “Es el estándar para la comunicación de imágenes”. [p. 1831],

Si hablamos de estándar DICOM, podremos decir, que nos permite transportar archivos médicos de forma segura cuando hay comunicación entre los sistemas de información. (Bueno & Dorado, 2007) “El objetivo fundamental del estándar DICOM es que las modalidades de imágenes, los sistemas PACS, las estaciones de visualización de imágenes y los equipos de impresión puedan comunicarse a través de un protocolo, común, abierto y público”, [p. 22]. También es un formato de almacenamiento de imágenes médicas.

(Adrados, 2011). “Los ficheros DICOM pueden intercambiarse entre dos entidades que tengan capacidad de recibir imágenes y datos de pacientes”, [p. 14]. Se

reconoce por su extensión dcm y necesita de un programa de visualización para su lectura (Dicomworks, Efilm, etc). Cuenta con objetos IOD, formados por la imagen y la información o datos asociados y DIMSE que es Dicom como elemento de servicio de mensaje u operaciones que se pueden realizar sobre un objeto. Cada fichero DICOM, contiene la imagen, información del paciente, el estudio en la que se basó la toma de esa imagen, la serie y la información de la imagen.

Describimos los estándares más utilizados de cada imagen, tanto en imágenes estáticas como imágenes médicas, ahora, como se sabe en la actualidad la evolución de la informática nos permite realizar sobre estas imágenes, transformaciones o procesamientos que nos resalten la información buscada para posteriormente extraer diagnósticos o conclusiones sobre ellas, para el procesamiento contamos con:

#### 2.3.3.4 Técnicas de procesamiento de imágenes:

##### 2.3.3.4.1 Procesamientos básicos:

##### 2.3.3.4.1.1 Cambios de intensidad:

(Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) nos dicen que “Los procesamientos más sencillos que nos encontramos aplicables a imágenes son aquellos

orientados a variar la intensidad de los pixeles de forma independiente” [p. 15], Se modifica los colores de cada pixel sin modificar su posición relativa. Se consideran operaciones como el cálculo negativo, variaciones del brillo o contraste, ecualizaciones y representaciones en falso color. Estas representaciones se encuentran en la salida de procesamientos avanzados, ahí se relacionan los valores de magnitud con diferentes colores. Con el procesamiento de salida se trata de representar visualmente los valores obtenidos para cada coordenada de la imagen.

#### 2.3.3.4.1.2 Procesamientos geométricos:

(Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) nos comenta que “Básicamente se trata de la aplicación de desplazamientos y de rotaciones” [p. 16], significa que cuando una imagen no cabe en la pantalla donde se está visualizando, se trata de reducir la imagen, lo que causa la pérdida de resolución, o a veces se hace desplazamientos o giros con el fin de visualizar cómodamente la imagen de región que nos interesa.



Los procesos conocidos como Interpolación y Diezmado están asociados a las operaciones de ampliar o reducir el tamaño de una imagen. El diezmado reduce la imagen e implica la pérdida de resolución incluso la desaparición de píxeles. La Interpolación es todo lo contrario, simula a un zoom digital, permite observar los objetos con más detalle, La Nasa (2004) informó que logro ampliar 10 veces más una imagen digital con calidad.

#### 2.3.3.4.1.3 Filtrados Frecuenciales:

(Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) nos dicen que “Tratan la imagen a partir de sus componentes frecuenciales” [p. 17], En general encontramos Componente de Baja frecuencia, que es la zona de una imagen en la que el brillo o el color son uniformes, por lo tanto, ofrecen variaciones suaves. Y Componente de Alta frecuencia, que son los contornos de los objetos incluidos en la imagen, con cambios bruscos de intensidad. Ahora, aclarando la nomenclatura utilizada en el diseño de filtros, encontramos los tipos de filtros



más habituales como los Filtros paso bajo, que implica el suavizado de los contornos de la imagen. Y Filtros paso alto, que implica el realce de contornos, brillo, texturas rayadas o cuadriculadas, y todo aquello que contenga cambios bruscos.

#### 2.3.3.4.1.4 Filtros de detección de bordes:

(Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) nos dicen que “Guardan cierta relación conceptual con los filtros frecuenciales paso alto”. [p. 18], Se trata de eliminar toda la información de la imagen que generalmente se representa de forma negra, correspondiente a un área de baja frecuencia, y nos quedamos con los contornos de la imagen, representándolos con la máxima intensidad.

#### 2.3.3.4.1.5 Umbralización:

(Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) nos dicen que “Es habitual tomar el umbral a partir de alguno de los valores mínimos del histograma de frecuencias”. [p. 18], establecer el nivel de

intensidad de la imagen de entrada, los valores por debajo de los pixeles de entrada se convertirán en negros, los que están por encima se convertirán en blancos.

#### 2.3.3.4.2 Procesamientos avanzados:

##### 2.3.3.4.2.1 Extracción de características:

Según (Carrión, Ródenas & Rieta, 2006). “La extracción de características o toma de medidas pertenecientes a los objetos reales representados en una imagen es posible teniendo en cuenta alguna restricción”. [p. 19], Cuando se toma una imagen por proyección se debe calibrar el sistema tomando como patrón un objeto y la distancia en la que se encuentre, para asegurarnos de que la medida tomada corresponda a la realidad. También existen imágenes tomadas mediante la detección de reflexiones en las capas internas, que no necesitan constante calibración, como las ecografías, que cuando se calibra el sistema una vez no existe margen de error, por lo que la relación entre las distancias de los puntos y los

retardos de la reflexión recibida, son funciones de velocidad de la onda en el medio, y pues la velocidad es constante en diferentes cuerpos.

#### 2.3.3.4.2.2 Segmentación:

Según (Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) “Es un proceso cuyo objetivo es dividir el contenido de una imagen en regiones independientes”, [p. 19].

Es utilizado para aplicar técnica de visión artificial, para detectar movimientos o para reconocer objetos a través de su forma o color.

Para utilizar un método de segmentación varía dependiendo de cómo lo queramos visualizar, que tipo de imagen es, y otros factores, pero hay que tener en cuenta que no existen métodos de segmentación para cualquier variedad de datos.

Encontramos técnicas de procesamiento básico y avanzado, lo cual estas técnicas nos permiten obtener información que luego será analizada, pero también, por medio de estas técnicas podemos obtener una imagen con mejor percepción, como son las imágenes tridimensionales, y podremos tener una reconstrucción de imagen tridimensional por medio de otras técnicas.



### 2.3.3.5 Imágenes tridimensionales:

#### 2.3.3.5.1 Concepto:

Según (Cunninghan, Leveno, Bloom, Hauth, Rouse & Spong, 2011) “El objetivo de las imágenes tridimensionales es obtener un volumen y luego presentar ese volumen para mejorar los hallazgos bidimensionales en tiempo real”, [p. 361]. Es un objeto que tiene tres dimensiones, es decir que se localiza sus puntos especificando 3 números dentro de un rango, como son anchura, longitud y profundidad.

#### 2.3.3.5.2 Reconstrucción de imágenes 3D:

Según (Latorre & López-Barneo, 1996) “La reconstrucción tridimensional de una célula es la única maniobra que permite la determinación de los cambios de forma que acompañan a los cambios de volumen”, [p. 208]. La reconstrucción tridimensional se logra obteniendo, en sectores de tiempos determinados, imágenes de secciones de un cuerpo u objeto, donde con un sistema de contraste diferencial de interferencia que se acopla a un intensificador de imágenes, y poder tener secciones ópticas del cuerpo u objeto, y así estas imágenes se almacenan en un ordenador para su

posterior análisis. Al conjunto de las imágenes individuales en el plano axial reproducen su volumen, creando así la imagen tridimensional.

### 2.3.3.5.3 Técnicas de reconstrucción de imágenes 3D:

#### 2.3.3.5.3.1 Métodos basados en puntos:

##### 2.3.3.5.3.1.1 Técnica basada en puntos correspondientes

estéreo:

(Hosseinian & Arefi, 2015). Nos dicen que este método se implementa en base a los puntos correspondientes estéreo identificados manualmente en la vista múltiple radiografías por un operador experto. También son llamados método de CPS. En estos métodos, la cuestión importante es la localización de al menos seis puntos de referencia anatómicos correspondientes.

La desventaja de este método tiene poca precisión, baja reproducibilidad y consume mucho tiempo. Esta técnica necesita un tiempo de 2 a 4 horas para la

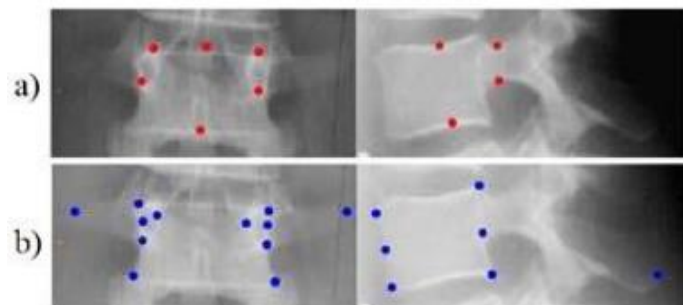


reconstrucción debido a que se realiza en forma manual.

2.3.3.5.3.1.2

Técnica basada en puntos correspondientes no estéreo:

(Hosseinian & Arefi, 2015). Nos dice que esta técnica se basa en el Principio basado Non Stereo Corresponding Point based Techniques(NSCP), permite la reconstrucción 3D de ambas SCPs y NSCPs, para obtener una más refinada y detallada mediante la deformación de la geometría 3D modelos genéricos mediante una geometría epipolar. Al igual que la técnica anterior esta técnica necesita un tiempo de 2 a 4 horas para la reconstrucción debido a que se realiza en



forma manual



Figura 6 (Milescu, 2002). a) Stereo Corresponding points, b) Non Stereo Corresponding points

2.3.3.5.3.2 Método basado en curvas de nivel:

(Hosseinian & Arefi, 2015). Nos dicen que con este método se obtiene el objeto reconstruido en iteración paso final tan largo como la distancia entre dos puntos es superior a un determinado valor de precisión. Se reportó el error promedio de  $1,0 \pm 1,4$  mm (media  $\pm$  error RMS) y el error máximo de 5 mm para los cuales eran precisos y fueron similares a los obtenidos generalmente mediante TAC.

Este método puede ser adaptado a cualquier estructura mientras se cumplen los requisitos.



Figura 7 (Hosseinian & Arefi, 2015). Identificación de contornos anatómicos en radiografías. a) Fémur distal, b) Pelvis



2.3.3.5.3.3 Método basado en forma estadística del modelo:

Según (Hosseinian & Arefi, 2015) son métodos basados en el modelo de forma estadística (SSM) se proponen como algoritmos de reconstrucción más automatizada. Una de las ventajas es que Reduce la intervención del usuario considerando con más información acerca de objetos patológica, utilizando conocimiento estadístico de posibles deformaciones de los objetos, además que la reconstrucción 3D sea precisa especialmente para objetos como vértebras.

La exactitud de este método se evaluó en 57 vértebras scoliotic in vivo. La diferencia media de punto a la superficie del modelo 3D DESDE EL CT-scan (con la precisión de 1mm) fue de 1,46 mm a 1,3 mm y lumbar de vértebras torácicas. Este método la intervención del usuario considerablemente, pero fue utilizado sólo por una pequeña parte de la columna vertebral que tiene menos superpuestos.



2.3.3.5.3.4 Método paramétrico:

Según (Hosseinian & Arefi, 2015), es un método que mejora las limitaciones de los métodos anteriores, tales como el tiempo; “en lugar de utilizar el conjunto completo de puntos propuesto por el SSM, se realizan estadísticas sobre parámetros descriptivos anatómica (DP) extraído de la superficie de interés”.

Estos enfoques son adecuados para proporcionar una reconstrucción 3D inicial, rápido y robusto. Este modelo paramétrico simplificado está hecho de diferentes primitivas geométricas tales como puntos, líneas, círculos y esferas de acuerdo con la estructura ósea considerado.



Figura 1 (Hosseinian & Arefi, 2015). Identificación de contornos anatómicos en radiografías. a) Fémur distal, b) Pelvis

#### 2.3.3.5.3.5 Método híbrido:

Según (Hosseinian & Arefi, 2015) “Los métodos de esta clase pueden tener diferentes propiedades con respecto a sus combinaciones y aplicaciones”.

Según (Kadoury, 2015), “Ofreció un método de reconstrucción 3D híbridos que combinan conocimientos estadísticos con información basada en imágenes, este método de reconstrucción 3D híbrido combinó el conocimiento con información basada en la imagen”.

En su planteamiento indican que las líneas centrales de la columna vertebral extraídas de las imágenes preoperatoria se utilizan para mapear la reconstrucción 3D de la curva de la columna vertebral en una representación de pocas dimensiones de una base de datos de escoliosis, y realizar una modelización estadística de la anatomía basado en un análisis de regresión.

Por consiguiente, utilizo la incrustación lineal local (LLE) de splines cartografía 3D para un menor espacio dimensional, posteriormente fue usado para inferir la reconstrucción de la columna vertebral mediante regresión de vectores de soporte (SVR).

El modelo se refina localmente en cada nivel vertebral a través de un método de segmentación que está basado en un paradigma de evolución de la superficie conjunto de nivel. Como resultado el método requiere un tiempo de 2,4 minutos, además del tiempo necesario para la identificación de las ranuras para la reconstrucción 3D de la columna vertebral; utiliza una base de datos grande para crear el modelo estadístico, ya que el enfoque estadístico propuesto se basa en Locales de incrustación Línea (LLE) y esta técnica es sensible a la falta de muestreo.

El método tiene una precisión aceptable para los pacientes con escoliosis moderada.

#### 2.3.3.5.3.6 Reconstrucción Multiplanar (MPR):

Según (Hofer, 2005) “Esta técnica permite la reconstrucción tanto coronal y sagital como oblicuo”, [p. 13]. Es una técnica muy importante cuando se trata de dar un diagnóstico de una fractura o hallar algunas patologías. (Cameron, 2006) afirma que “Es una deformación geométrica del volumen de datos”. Se utiliza múltiples imágenes de cortes transversales, y después de obtenerlas, se apilan visualmente los cortes.



Figura 8 (Wikilibros, 2007). MPR Ortogonal 3D

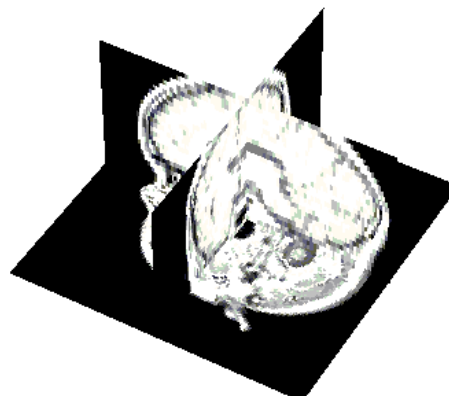


Figura 9 (Álvarez, Herrera & Olgún, 2010).  
Reconstrucción Multiplanar.

#### 2.3.3.5.3.7 Reconstrucción de Superficie Sombreada (SSD):

Según (Hofer, 2005) “Este método muestra la superficie de un órgano o hueso que ha sido definida en unidades Hounsfield por encima de un determinado valor umbral”, [p. 13]. La localización y el ángulo de visión de la fuente de visión, de donde el ordenador calcula el sombreado, son importantes para la reconstrucción. Obtienes un umbral de unidades Hounsfield (UH) y eliminas los tejidos que están a simple vista por debajo del umbral. Su utilidad se limita en la visualización de tejidos duros y es prácticamente inútil para visualizar tejidos blandos.





Figura 10 (Hofer, 2015) Fractura del radio distal (\*) en la superficie ósea SSD 3D

#### 2.3.3.5.3.8 Reconstrucción de Máxima Intensidad (MIP):

Según (Del cura, Pedraza & Gayete, 2010) es una técnica de reconstrucción 3D que consiste en seleccionar un rango de cortes y de esos cortes verificar cuál de ellos tiene los mayores valores de atenuación (Unidades Hounsfield). Este voxel será proyectado en una imagen bidimensional creando un corte más grueso.

El efecto 3D se obtiene variando en pequeños sectores el ángulo de proyección y viendo entonces las imágenes reconstruidas en su cesión rápida (por ejemplo, en modo “cine”).

La proyección de máxima intensidad permite realzar las estructuras con mayor atenuación a lo largo de varios cortes simultáneamente, lo cual facilita una visualización rápida y efectiva de



estructuras densas (vasos contrastados, hueso). Entre más ‘grueso’ sea el rango de la MIP (más cortes seleccionados), más estructuras densas se verán superpuestas.

#### 2.3.3.5.3.9 Representación Volumétrica (VR):

(Gonzales, 2011) afirma que “Esta técnica de representación tridimensional toma todo el volumen de datos y suma la contribución de cada vóxel a lo largo de una línea desde el ojo del observador a través del volumen de datos y representa la composición resultante para cada píxel de la pantalla”, [p. 221].

Se hace un cierto número de cortes transversales (horizontales o axiales), cada corte es una representación o imagen que está compuesta por un número de píxeles. Estas imágenes se colocan uno encima de otra, cada imagen con una posición (x, y) alineados respectivamente en base a los píxeles. Estos píxeles presentarán coordenadas tridimensionales.



Se mantendrá las coordenadas originales (x, y), y toman un nuevo eje, z, esta sería la coordenada de profundidad, apareciendo los elementos de volumen o vóxels.

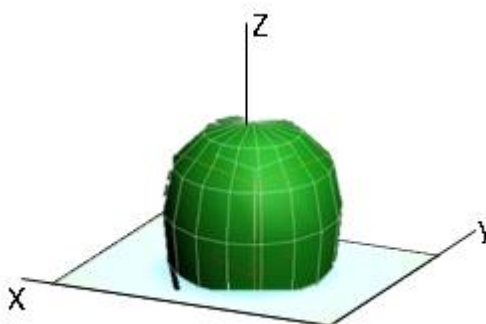


Figura 11 Reconstrucción 3D, representado en los ejes (x, y, z)

#### 2.4 Definición de términos básicos:

- a. **Imagen:** Es una representación visual con diferente intensidad luminosa, que manifiesta la apariencia visual de un objeto real o imaginario.
- b. **Pixel:** Pequeños cuadraditos que componen la matriz, elemento de representación o de dibujo, siendo su tamaño para todos igual, y proporcional al número de matriz empleado.
- c. **Voxel:** Es la unidad cubica que compone un objeto tridimensional. Es un conjunto de pixeles. Constituye la unidad



mínima procesable de una matriz tridimensional y es, por tanto, el equivalente del píxel en un objeto 2D.

- d. **Coefficiente de Atenuación:** La formación de los contrastes en la imagen de TC viene determinada por los gradientes de absorción o atenuación de una sustancia u objeto explorado con los rayos X de la TC. Por tanto, el valor que se obtiene en cada PIXEL se le denomina coeficiente de atenuación y se representa por un número entero.
- e. **Imagen Bidimensional:** Como el mismo nombre lo dice, posee dos dimensiones, alto y ancho, también reciben el nombre de planos, los más comunes son: el círculo, el triángulo, rectángulo, rombo, etc.
- f. **Imágenes fractales:** Es un objeto cuya estructura se repite a diferentes escalas, es decir por más que nos acerquemos o alejemos de la imagen observamos la misma estructura.
- g. **Procesamiento de imágenes:** Tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar. La imagen puede haber sido generada de muchas maneras.



- h. **Compresión de imágenes:** El objetivo es reducir los datos redundantes e irrelevantes de la imagen con la menor pérdida posible. para permitir su almacenamiento o transmisión de forma eficiente.
- i. **Sistema digital:** Es un conjunto de dispositivos destinados a la generación, transmisión, manejo, procesamiento o almacenamiento de señales digitales.
- j. **Sistema binario:** En ciencias e informática, es un sistema de numeración en el que los números se representan utilizando solamente las cifras cero y uno.
- k. **Radiación electromagnética:** Está formada por la combinación de campos eléctricos y magnéticos. Son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica.
- l. **Modelado tridimensional:** Es un trabajo de arte gráfico, es el proceso de desarrollar una representación matemática de cualquier objeto tridimensional, envuelve por completo la superficie tridimensional.

- m. **Región de interés:** Es el área o zona que será estudiada para su posterior análisis clínico o para una posible reconstrucción digital.
- n. **Algoritmos:** Es un conjunto de instrucciones o reglas bien definidas que representan un modelo de solución para un determinado problema.
- o. **Tubo de rayos x:** Consiste en una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío, utilizada para la producción de rayos X, emitidos mediante la colisión de los electrones.
- p. **Radiolucido:** Término que se emplea en la acentuación de los rayos X, es decir, son tejidos blandos y que por tanto permiten el paso de la luz. Es todo aquel cuerpo que se deja atravesar por la energía radiante, (se ve como una zona negra).
- q. **Factor de paso (pitch):** Razón que se obtiene al dividir el desplazamiento longitudinal de la mesa de exploración, por cada rotación de  $360^\circ$  del tubo, entre el producto del número de cortes producidos en la rotación por el espesor nominal de corte.



- r. **Conductividad eléctrica:** Es la medida de la capacidad (o de la aptitud) de un material o sustancia para dejar pasar (o dejar circular) libremente la corriente eléctrica.
  
- s. **Sistemas PACS:** Es un sistema computarizado para el archivado digital de imágenes médicas.
  
- t. **DIMSE:** Acrónimo del elemento de servicio de mensajes DICOM. Se trata de un conjunto de servicios DICOM realizadas entre entidades de aplicación.
  
- u. **Representaciones en falso color:** Una imagen en falso color es una imagen que representa un objeto en colores diferentes a los de una fotografía mostraría.
  
- v. **Calibración:** Es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia.

### III. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de investigación y diseño de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

Se utilizó como tipo de investigación, según el objetivo y según el propósito. Dentro de la investigación según el objetivo tenemos: descriptiva y analítica, ambas forman parte de la investigación cuantitativa. Descriptiva porque se ha hecho un análisis donde se muestra que las causas del deterioro y las alteraciones que sufre la palta al ser este un fruto sensible, es por no tener una temperatura exacta de refrigeración para su conservación y analítica porque mediante la reconstrucción 3D se trata de validar la hipótesis al obtener una imagen tridimensional que conserve las características físicas del fruto como dimensión, volumen y forma, esto para apoyar en el cálculo del nivel de refrigeración que necesita.

En la investigación según el propósito tenemos la aplicada que se utilizó para darle solución al problema que existe en el sector agroindustrial que es la de realizar un mejor cálculo de refrigeración, contando con un modelo 3D que sirva de apoyo.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

Cuenta con un diseño cuasi experimental, ya que esta tesis cumplirá el objetivo de la reconstrucción 3D, utilizando una sola técnica, la cual es la técnica de Proyección de Máxima Intensidad,

además de trabajar con una sola fruta para la obtención de tomografías que son fundamentales en esta tesis.

### 3.2 Población y muestra

#### 3.2.1 Población

La Población está formada por el conjunto de representaciones o imágenes tomográficas emitidas de un tomógrafo computarizado.

#### 3.2.2 Muestra

Según Gavidia, Landrove & Cerrolaza (2010). Utilizaron una cantidad de cortes o representaciones para reconstruir el modelo que desea obtener.

Representaciones TC	Modelo reconstruido
256 cortes	Cráneo
185 cortes	Hueso Mandibular
106 cortes	Cadera
513 cortes	Espina Dorsal
59 a 72 cortes	Tejidos blandos

Tabla 1 Cantidad de representaciones por modelo reconstruido

La muestra está determinada por los investigadores por conveniencia para la investigación, tomando en cuenta los datos de la investigación anterior [Tabla 1]. Se tomarán 100 representaciones tomográficas de la fruta, por ser de tejido blando.



### 3.3 Hipótesis

Se podrá reconstruir una imagen tridimensional a partir de las imágenes tomográficas de frutos con pepa, mediante la técnica de proyección de máxima intensidad.

#### 3.3.1 Variables

##### 3.3.1.1 Variables dependientes

Reconstrucción de imágenes 3D a partir de tomografías de palta

##### 3.3.1.2 Variables independientes

Técnica de Proyección de Máxima Intensidad

### 3.4 Operacionalización

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	
Técnica de Proyección de máxima Intensidad	Tiempo de respuesta del procesamiento	Tiempo de respuesta	Observación	
	Cantidad de tareas de procesamiento	Cantidad de Procesos	Análisis Documental	
Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	Ítems o Respuesta	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Reconstrucción 3D	Tiempo de reconstrucción	Tiempo de reconstrucción	Segundos (Seg.)	Observación
	Fidelidad de la reconstrucción	Fidelidad de la reconstrucción	Porcentaje (%)	Observación

Tabla 2 Operacionalización por Variable Dependiente e Independiente



### 3.4.1 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los métodos de investigación que se utilizaran en este estudio son:

Análisis documental y Observación

#### a) Análisis documental:

Consiste en tomar información de diferentes libros, artículos, revistas, etc. Las cuales presentan teorías, técnicas, características para conocer la elaboración de una reconstrucción tridimensional, además de conocer el tipo de representaciones que se debe emplear y por último analizar la técnica que se implementara para dar solución al problema planteado.

#### b) Observación:

Consiste en el registro visual de una situación determinada, donde tomaremos en cuenta las características y especificaciones que se va dando, cuando se da seguimiento al proceso de reconstrucción tridimensional, las cuales se pueden observar y documentar, además de los aportes que puedan realizar los asesores y los miembros del jurado calificado.



### 3.4.2 Procedimiento para la recolección de datos

#### a) Análisis documental:

El proceso de recolección de datos por medio de análisis documental es el siguiente:

1. Recopilar y analizar los diferentes tipos de imágenes médicas que existen con sus características, para saber si son apropiadas para el proceso de reconstrucción tridimensional tal es el caso de las imágenes de rayos x y las tomografías.
2. Recopilar y analizar los diferentes tipos de técnicas utilizadas para el proceso de reconstrucción tridimensional, además de saber si en su proceso interactúan con las imágenes médicas seleccionadas anteriormente y que cantidad de tareas o procesos habría que realizar.

#### b) Observación:

Procesos de recolección de datos por medio de la observación es el siguiente:

1. Observa y documentar que calidad de representaciones tomografías tenemos, y así saber qué tipo de procesamiento y segmentación necesita.
2. Observar y documentar el proceso de la técnica, para tomar en cuenta el tiempo de procesamiento y reconstrucción que empleará.
3. Observar y documentar las diferentes características que brinden la imagen tridimensional, y que tan fiable es con la imagen real.

### 3.4.3 Plan de análisis estadístico de los datos

#### a) Media:

Consiste en calcular el promedio de los niveles de gris de la imagen.

$$\mu = \sum_{i=1}^n i \cdot h(i)$$

$i$  = niveles de gris de la imagen que van desde 1 a  $n$   
 $h(i)$  = histograma de probabilidades para  $i$

#### b) Desviación estándar

Consiste en medir el contraste entre los niveles digitales, es identificado con la homogeneidad que se ve en la imagen. En



una imagen oscura se da lo siguiente: (la desviación estándar =  $\sigma$ )

$\sigma = 0$ : la intensidad de la imagen es constante.

$\sigma = 1$ : la intensidad de la imagen posee valores altos de varianza.

$\sigma > 1$ : hay pixels de alto nivel de gris en un fondo de bajo nivel de gris.

**c) Asimetría**

Consiste en medir la asimetría del histograma, en términos matemáticos es una medida de la asimetría de los datos alrededor de la media muestral. Si el valor de la asimetría  $A_h$  es negativo, los datos son distribuidos a la izquierda de la media, y si es positivo se extiende a la derecha. La asimetría de la distribución normal (perfectamente simétrica) es 0.

$$A_h = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{i=1}^n (i - \mu)^3 h(i)$$

$\mu$  = media de la imagen  
 $\sigma$  = desviación estándar de la imagen  
 $i$  = niveles de gris de la imagen  
 $h(i)$  = histograma de probabilidades para  $i$

**d) Entropía promedio**

Mide la granularidad de la imagen, es una medida estadística de la aleatoriedad que puede ser utilizada para caracterizar la



textura de la imagen, un valor alto indica una textura gruesa y tendrá valor cero si es constante.

$$Ent = - \sum_{i=1}^n h(i) \log h(i)$$

*i* = niveles de gris de la imagen  
*h(i)* = histograma de probabilidades para *i*

### 3.4.4 Criterios éticos

Estos criterios responden a la reflexión del investigador que es acerca de los efectos, consecuencias o relaciones que se tiene con los involucrados en esta investigación. Por ello se han tomado los siguientes criterios éticos:

#### a) Criterio de Confidencialidad:

Es necesaria la protección de datos e información confidencial para esta investigación tal como lo expresa:

La ley N° 29733: “Ley de protección de datos personales”, en su Título IV: “Obligaciones del titular y del encargado del banco de datos personales” En su Artículo 28 señala: Que recopilar datos personales por medios ilícitos, fraudulentos o desleales está penado por el estado peruano.

Además, prohíbe utilizar los datos personales para finalidades distintas de aquellas que motivaron su recopilación, salvo que se efectúe previamente un procedimiento de anonimización o disociación, con la finalidad de que no se pueda identificar al



titular a través de los datos. Otro punto que se aclara es que cuando los datos hayan dejado de ser necesarios o pertinentes a la finalidad para la cual hubiesen sido recopilados, estos deberían ser suprimidos del banco de datos.

#### **b) Criterio de Confirmabilidad:**

Los resultados productos de la investigación serán confirmados por un profesional especialista en el tema tal como lo expresa:

El Código Deontológico del Colegio de Ingenieros del Perú en su Capítulo III “Faltas Contra la Ética Profesional y Sanciones”, en el Sub Capítulo II “De la Relación con El Público” en su Artículo 105 señala:

Los ingenieros serán objetivos y veraces en sus informes y declaraciones, y expresarán opiniones en temas de ingeniería solamente cuando ellas se basen en un adecuado análisis y conocimiento de los hechos, detalles técnicos y científicos suficientes y veraces.

#### **3.4.5 Criterios de rigor científico**

La calidad de esta investigación dependió del rigor con la que se realizó, eso condiciona su credibilidad. Por ello describimos los criterios de rigor científico empleados en esta investigación.

#### **a. Consistencia**

Los datos recolectados para este trabajo son de carácter científico y formal. El análisis realizado a los datos está hecho con total profesionalidad aplicando habilidades, técnicas y conocimientos de la ingeniería y de la investigación para mantener la consistencia de los datos y resulte en información consistente y útil.

#### **b. Validez**

Los datos obtenidos de la técnica de reconstrucción tridimensional en su implementación serán correctamente evaluados y analizados para lograr dar un resultado válido que verifique la hipótesis.

#### **c. Fiabilidad**

Las técnicas utilizadas para la reconstrucción tridimensional, nos permitirá analizar qué tan fiable es, y siempre tratando de dar como resultados valores aproximadamente iguales en las mismas circunstancias y situaciones.

#### **d. Objetividad**

Los datos que se obtendrán de la experimentación de la implementación de la técnica de representación volumétrica digital

para la reconstrucción tridimensional, así como los resultados del análisis de dichos datos están exentos de la influencia de la perspectiva de los investigadores.

#### IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el capítulo mostraremos los resultados obtenidos, como son: El tiempo de ejecución de cada una de las tareas, tiempo de ejecución de la reconstrucción 3D y la comparación del modelo 3D con el original.

##### 4.1 Resultados en tablas y gráficos.

###### a. Calculando tiempo de ejecución de cada tarea:

Para medir el rendimiento de cada sección de código se utilizó las funciones *tic* y *toc* de MATLAB. El tiempo total de ejecución de las 6 tareas fue de 26 segundos.

N°	TAREA	TIEMPO (Seg.)
1	Máxima Intensidad	0.046779
2	Umbralización	0.391706
3	Limpieza imperfecciones	3.78744
4	Función "regionprops"	6.77845
5	Función "find"	7.13985
6	Región con mayor intensidad	7.02092
<b>Tiempo Total Procesamiento de Imágenes</b>		<b>25.165145</b>

Figura 12. Resultados del Tiempo de Respuesta del Procesamiento de Imágenes





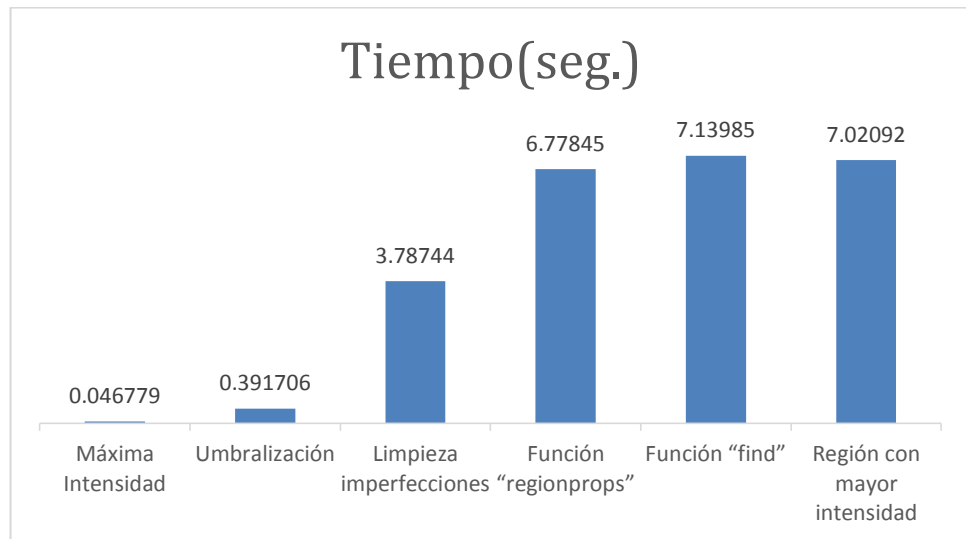


Gráfico 1. Tiempo de Respuesta del procesamiento de Imágenes.

**b. Tiempo de ejecución de la reconstrucción Tridimensional (3D):**

Se logró la reconstrucción 3D final en un tiempo de 2 segundos. Los resultados fueron satisfactorios, como se muestra en la figura 15.

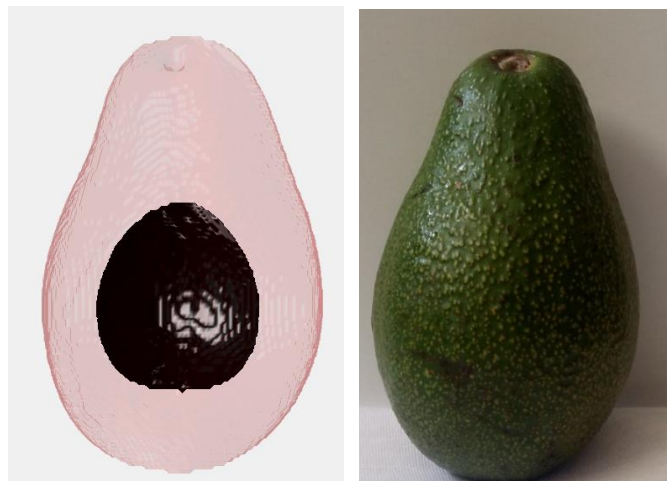


Figura 13. A la izquierda se aprecia la reconstrucción 3D utilizando la técnica MIP (Proyección de Máxima Intensidad) y a la derecha la palta real.



**c. Comparación del modelo 3D con la original:**

Para el cálculo de la fidelidad de la imagen nos basamos en el volumen de cada imagen, para ello usamos las fórmulas de volumen de 3 sólidos geométricos que se encontraron en la imagen.

Imagen (Sólidos Geométricos encontrados)	Calculo	Formulas
	$V_{SemiesferaA}$	$V = \frac{2}{3} \pi \cdot r^3$
	$V_{Tcono} - V_{SemiesferaB}$	$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h (R^2 + r^2 + R \cdot r)$ $V = \frac{2}{3} \pi \cdot r^3$
	$V_{Esfera}$	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$

Tabla 3 Formulas para el cálculo de Volumen en la Imagen

$$V_{Total} = V_{SemiesferaA} + (V_{Tcono} - V_{SemiesferaB}) + V_{Esfera}$$

TIPO DE MEDIDA	PALTA REAL	PALTA 3D
<b>Radio</b> <i>SemiesfA</i>	3.2	3
<b>Radio</b> <i>SemiesfB</i>	1.8	1.7
<b>Radio</b> <i>Esfera</i>	2.7	2.2
<b>Altura</b> <i>Tcono</i>	2.8	1.9

Tabla 4. Medidas de la Imagen Real y la Imagen 3D



Mostraremos el volumen total de la imagen real y de la reconstrucción 3D, luego procederemos a ver el porcentaje de acierto y porcentaje de error que tiene la imagen tridimensional frente a la imagen real.

	PALTA REAL	PALTA 3D
<b>VOLUMEN (<math>m^3</math>)</b>	153.38 $m^3$	123.91 $m^3$

<b>% Acierto</b>	<b>81%</b>
<b>% Error</b>	19%

#### 4.2 Discusión de los resultados

Las etapas propuestas en este trabajo permitieron obtener el modelo geométrico de una palta en tiempos de ejecución cortos y con resultados aceptables, cercano a la imagen real, teniendo un 81% de acierto y solo un 19% de error.

Las principales ventajas de la metodología propuesta es que incluye un conjunto de algoritmos de pre procesado y segmentación que pueden ser combinados para formar técnicas híbridas que se adecuen a la estructura bajo estudio.



## V. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

La propuesta planteada en esta investigación es la de obtener mediante imágenes tomográficas y la aplicación de la técnica MIP (Proyección de Máxima Intensidad) una reconstrucción 3D de la geometría real de la palta. En este trabajo, la reconstrucción tridimensional (3D) se implementó en MATLAB®. La muestra usada fue: Una palta fuerte.

La propuesta finaliza con la reconstrucción 3D, dejando abierta la posibilidad de que se puedan continuar con más investigaciones referente al tema, como en este caso, este tipo de modelos 3D de la estructura de la palta servirá para el área de Agroindustria teniendo ellos como finalidad aplicar cálculos matemáticos en la reconstrucción 3D, para que puedan trazar las curvas de enfriamiento de la palta, al analizar la influencia de las dimensiones en el tiempo de enfriamiento de estas.

### 5.1 Adquisición de las Imágenes

En este trabajo, las imágenes de los cortes del plano frontal se adquirieron a lo largo del eje coronal utilizando la tomografía computarizada (TAC), que es una tecnología para diagnóstico con imágenes. Para obtener dichas imágenes, se utilizó el tomógrafo **SOMATOM Scope**. El grosor de los cortes fue 0,8 mm (milímetros), generando 100 cortes, respectivamente.



Figura 14. Visualización de la palta fuerte en distintos ángulos.





Figura 15. Tomógrafo SOMATOM Scope

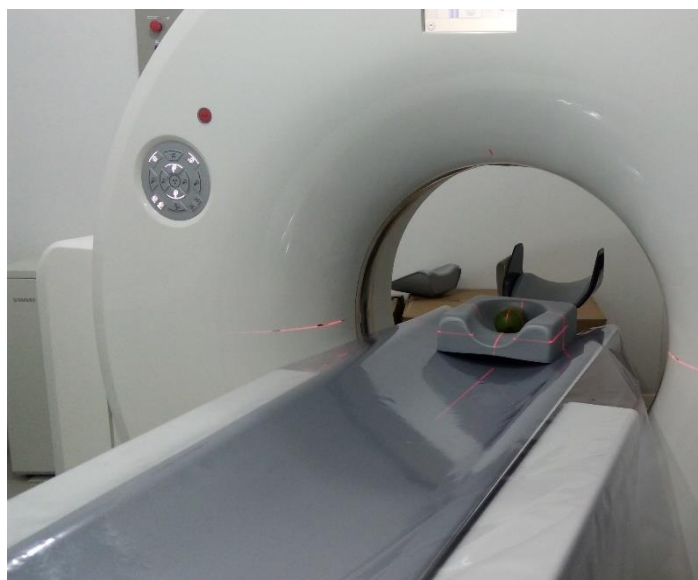


Figura 16. Colocación de la palta en la camilla del tomógrafo para su exploración.

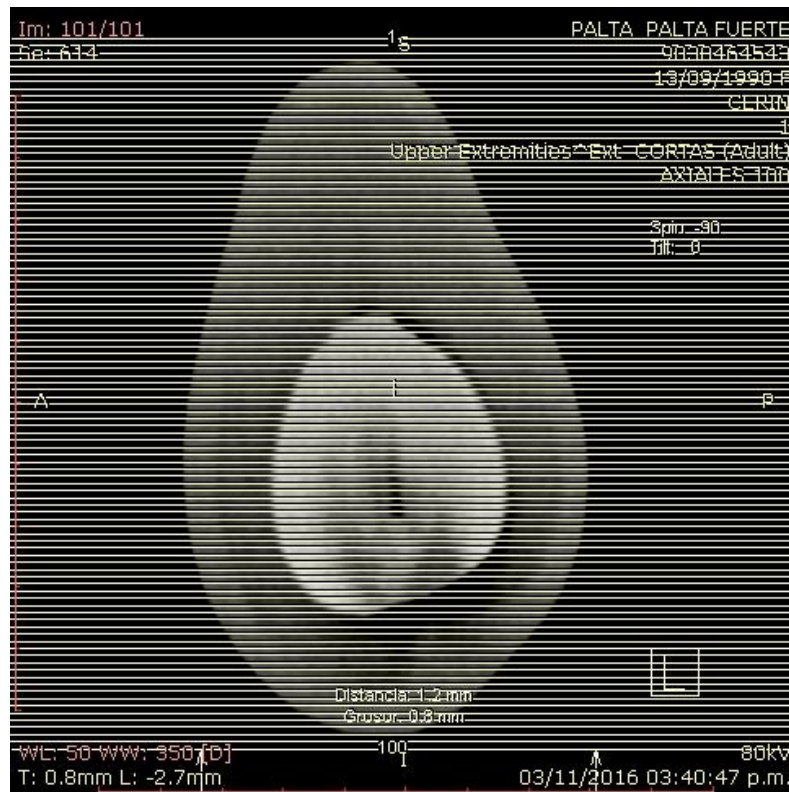


Figura 17. Obtención de los 100 cortes o secciones.

## 5.2 Procesamiento de imágenes

Con el objetivo de resaltar y segmentar las partes o estructuras de interés de las imágenes tomográficas obtenidas, se usaron técnicas de procesamiento de imágenes, ejecutadas mediante un programa desarrollado en código MATLAB.



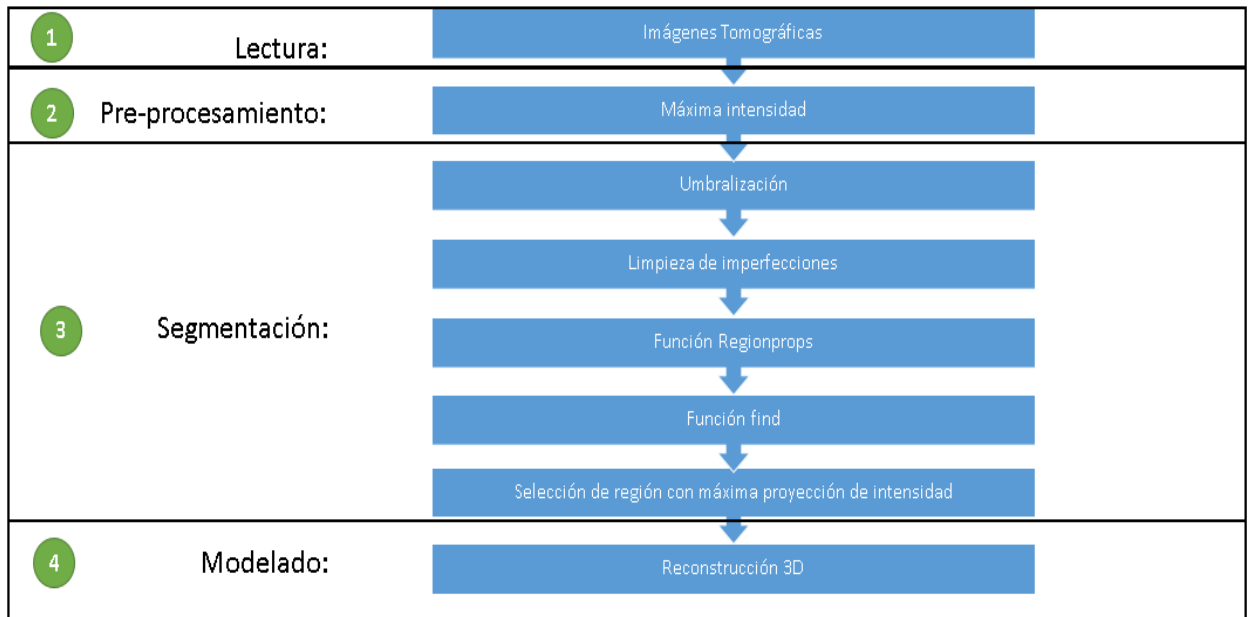


Figura 19. Procesamiento de reconstrucción 3D.

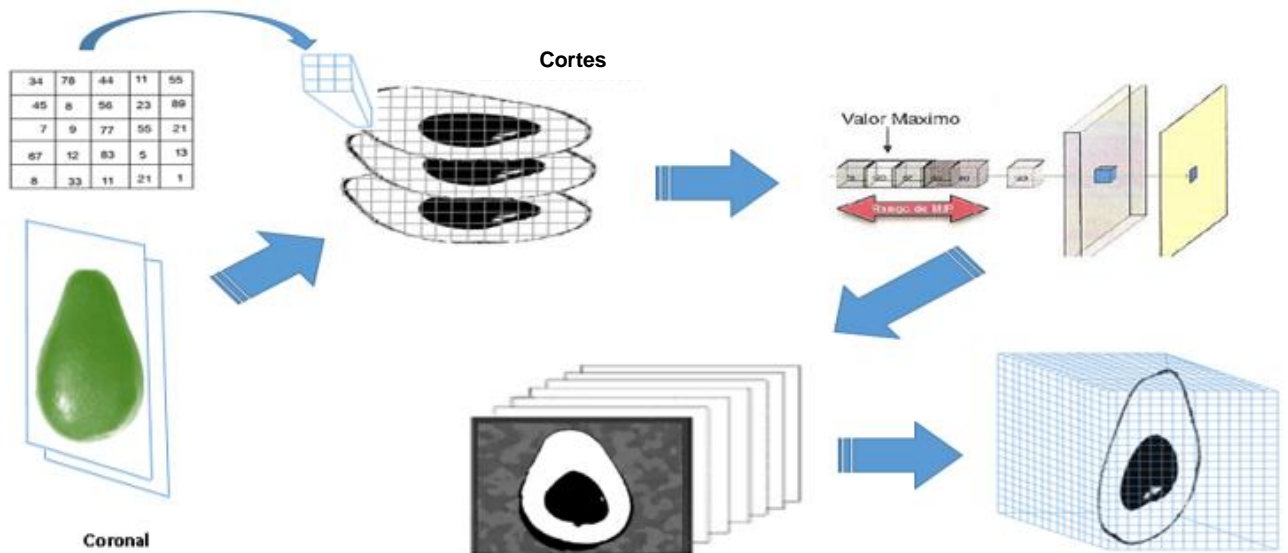


Figura 18. Técnica de reconstrucción 3D -MIP (Proyección de Máxima Intensidad)





A continuación, se describen brevemente los pasos básicos implementados:

**a. Lectura:**

Se hace una lectura de todas las imágenes y las mostramos en un montaje, como visualizamos en la Figura (20). Como ejemplar se seleccionó una imagen y todos los cambios hechos afectará a las demás, Figura (21).

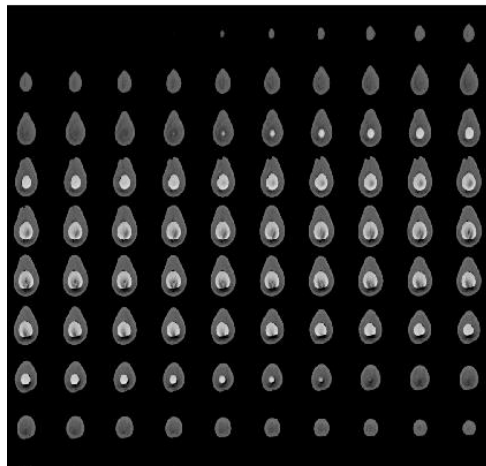


Figura 20. Montaje de todas las imágenes

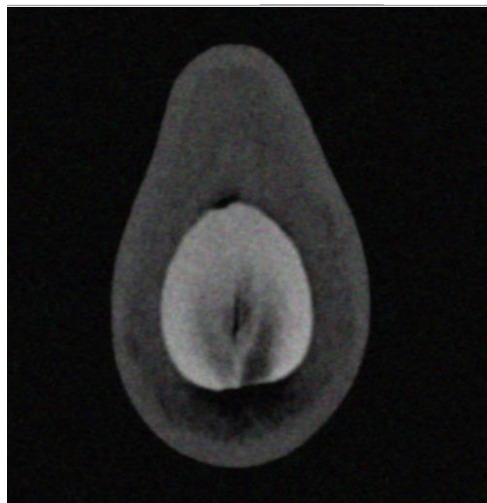


Figura 21. Ejemplar

Según Semmlow (2004) junto a Preim y Bartz (2007) concuerdan que existen dos etapas principales y que son fundamentales para una reconstrucción tridimensional (3D). Estas son: (1) pre-procesamiento o mejora de las imágenes para reducir ruido, acentuar detalles de interés, etc. y (2) segmentación o extracción de regiones de interés para su posterior análisis. Estas dos etapas y las principales técnicas asociadas son tratadas más adelante.

### b. Pre procesamiento

Para esta primera fase no fue necesario aplicar ningún tipo de filtro, ya que el tomógrafo **Somatom Scope** de **Siemens**, obtuvo imágenes nítidas. En el video Matlab (19 de abril del 2013) Medical Imaging Analysis and Visualization. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=hI51xJ0qxSk>. Muestra que en la etapa de pre procesamiento que se les hizo a las imágenes tomográficas de un cerebro no se utilizó ningún tipo de filtro, por las razones que mencione al inicio y no tuvo ningún problema en la reconstrucción 3D final. A partir de aquí, se aplica máxima intensidad para resaltar las regiones más densas de la imagen, dándole más brillo, las cuales en la etapa final serán seleccionadas para formar la reconstrucción 3D de la palta.

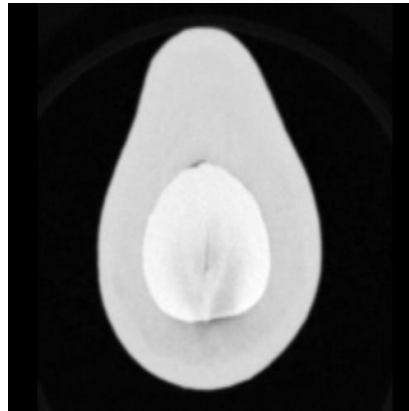


Figura 22. Imagen con máxima intensidad

**c. Segmentación:**

Se define como el proceso de selección de datos, donde se determina las zonas o regiones de interés y luego nos permite quitar las partes que son innecesarias. En Bankman (2000) se describen los diferentes tipos de clasificación de las técnicas de segmentación, las cuales son:

- Manual, semiautomática y automática.
- Basada en pixel (métodos locales) y basada en regiones (métodos globales)
- Delineación manual, segmentación de bajo-nivel (umbralización, Región Growing, etc.), y segmentación basada en modelos.
- Clásica (umbralización, basada en bordes, y técnicas basadas en regiones), estadísticas, métodos fuzzy, y técnicas de redes neuronales.



Basado en esta clasificación de Bankman (2000) presentamos la técnica empleada, que fue la de umbralización.

Para esta etapa se aplicó en la imagen el algoritmo de segmentación basado en umbralización. Cuyo objetivo es convertir la imagen en una nueva con solo dos niveles, obteniéndose una imagen en blanco y negro, de manera que los objetos queden separados del fondo.

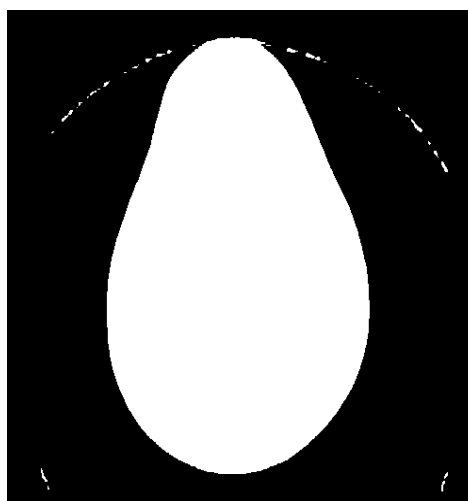


Figura 23. Umbralización

Posteriormente aquellas imperfecciones del fondo fueron eliminadas.

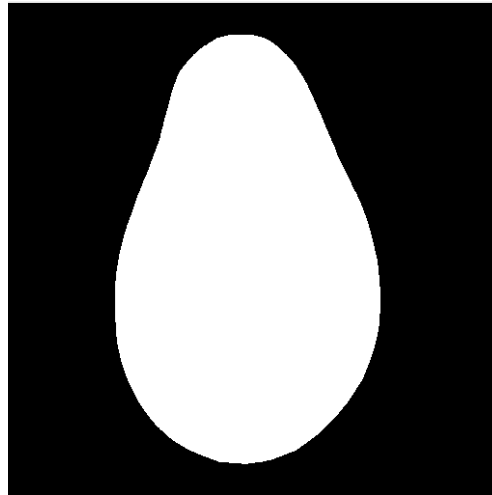


Figura 24. Imagen limpia de imperfecciones

Luego, con la función “regionprops”, Calculamos las propiedades de los objetos (área, centro de masa y perímetro) que se encuentran dentro de la imagen, previamente binarizada, cada objeto es identificado con un color diferente.

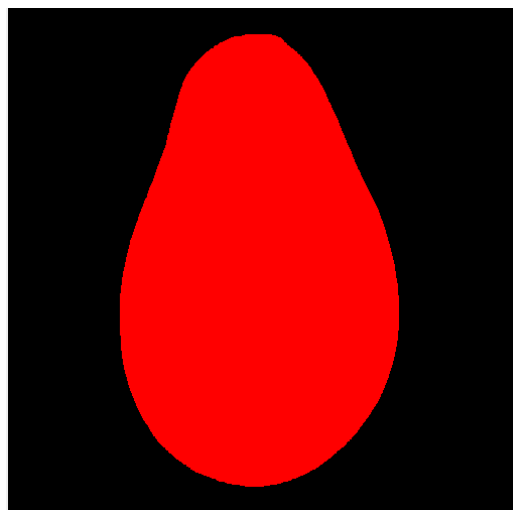


Figura 25. Objeto identificado de color rojo.

La función “find”, nos devolverá el objeto con la mayor área e ignorará los de menor área. Finalmente se mostrará una imagen limpia de ruidos y sin imperfecciones.



Figura 26. Objeto con mayor área.

Antes de pasar a la etapa de la reconstrucción 3D, separamos la imagen en dos regiones, donde la parte que tenga máxima intensidad se pintará de blanco y la parte de mínima intensidad de color azul.



Figura 27. Selección de región con mayor intensidad

**d. Modelado**

Una vez que se identificó la intensidad máxima y mínima de la imagen se procede a la etapa final. Los 100 cortes coronal fueron leídos y apilados paralelamente, obteniéndose la reconstrucción 3D.

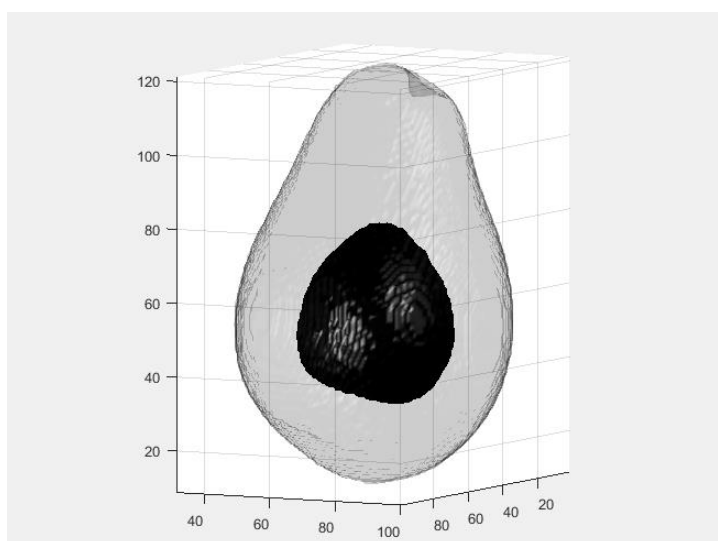


Figura 28. Visualización final de la reconstrucción 3D de la pata.



## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones.

a) La cantidad de cortes o secciones obtenidas, influenciaron mucho en el resultado final de la reconstrucción 3D. En una primera instancia se emplearon 80 imágenes tomográficas, no logrando el resultado esperado. En ella se visualiza unos agujeros en los extremos de la reconstrucción 3D.

En la segunda prueba se empleó 100 imágenes tomográficas. Se logró la reconstrucción 3D final en un tiempo muy bueno y con una forma muy parecida a la real. Los resultados fueron favorables.

b) En la fase de pre procesamiento no hubo la necesidad de emplear ningún tipo de filtro, ya que el tomógrafo **Somatom Scope** de **Siemens** tiene una tecnología que permite reducir la captación del ruido, permitiendo obtener imágenes de buena calidad con radiación mínima. Lo que si se hizo fue mejorar las intensidades para visualizar aquellas zonas más brillantes que por la característica del ojo humano son difíciles de diferenciar en comparación a las zonas más oscuras que se aprecian con mejor detalle, mejorando y resaltando las regiones con mayor densidad, la cuales serán seleccionadas y proyectadas en la reconstrucción 3D.





- c) Una vez mejorado los niveles de intensidad, la siguiente fase fue la segmentación, fase muy importante, ya que es un pre requisito para la reconstrucción 3D. Para ello se utilizó la técnica de umbralización, limpieza de imperfecciones, funciones regionprops y find. Cada una dependiente de la otra, consiguiéndose el propósito que era la de dividir las imágenes en regiones, eliminándose los objetos no deseados y quedándose con la parte que más nos interesaba que era la silueta de la palta.
- d) Se obtuvo con la técnica de Proyección de Máxima de Intensidad (MIP), una reconstrucción 3D semejante a la original. Donde se puede apreciar el interior de la palta, mostrándose con más detalle la pepa, al ser parte la más densa de la fruta. Este tipo de técnica de reconstrucción ofrece una visualización tanto interna como externa que podría ser de gran ayuda para los estudios que se le quiera hacer.

Como conclusión final podemos decir que el método implementado, combinando la tomografía computarizada(TAC), técnicas de procesamiento de imágenes y la técnica MIP (Proyección de Máxima

Intensidad), son adecuados para obtener modelos geométricos tridimensionales (3D) como se logró con la palta, que presenta diferentes formas (desde similar a la de una pera hasta redonda). Estas representaciones pueden ser usadas en otros campos como por el ejemplo, el de agroindustria.

Las rutinas de pre procesamiento, segmentación empleadas en este trabajo permitieron obtener modelos geométricos precisos, confiables, con tiempos de procesamiento cortos, a partir de imágenes tomográficas, las cuales fueron integradas en una herramienta de software para su fácil interacción con el usuario.

## 6.2 Recomendaciones.

Se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto, que pueden tomar esta investigación como una guía para estudios similares, empleando otras técnicas de reconstrucción 3D que quedan por estudiar como es el caso de la técnica de representación de sombreado de superficie, reconstrucción multiplanar, etc. Muchas aún por explorar.

Así como también la implementación de otras técnicas de pre procesamiento y segmentación que no han sido expuestas en este trabajo, los resultados que se obtuvieron fueron los deseados, pero para ello se presentó una dificultad cuando se extrajo la silueta de la palta, tuviéndose que calibrar los parámetros para obtener con precisión y limpia de imperfecciones esa región de las imágenes tomográficas que requeríamos. Como quedan muchas técnicas de segmentación por estudiar como es el caso de Region Rrowing y Watershed, quizá su implementación para este tipo de procesamiento pueda brindarnos resultados similares, pero con un proceso que no sea difícil.

## REFERENCIAS

- Adrados, L. P. (2011). *Manual de introducción a la radiología equina*. Zaragoza: Servet.
- Alcalá, J. & Navarro, G. (2008). *Una introducción a la imagen digital y su tratamiento*. MIDECIANT. Cuenca.
- Álvarez, J., Herrera, J., Olguín, M. (2010). *Comparativo de técnicas de reconstrucción 3D para imágenes médicas*. México. SINNCO.
- Baird, C. D., Gaffney, J. J. (1976). *An numerical procedure for calculating heat transfer in bulk loads of fruits or vegetables*. ASHRAE Transactions, v. 82, n. 2, p. 525.
- Belin, M., Khachikian, S. & Ambrósio, R. (2012). *Tomografía corneal basada en la elevación*. 2da ED. Jaypee - Highlights. Panamá.
- Bóveda, C., López, J., Clavel, T. (2012). *Tomografía Volumétrica Digital - TVD*. Venezuela. Centro de especialidades odontológicas.
- Bower, JP. (2005). *Resolving long distance shipping disorders in 'Hass' avocados, New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference, Session 6*. Tauranga, New Zealand.
- Bueno, G. & Dorado, J. (2007). *Gestión, procesado y análisis de imágenes biomédicas*. Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha. Cuenca, España.
- Cameron, M. (2006). Design, development and implementation of a parallel algorithm for computed tomography using algebraic reconstruction technique. Master's thesis, University of Manitoba.
- Carrión, P., Ródenas, J. & Rieta, J. (2006). *Ingeniería biomédica, imágenes médicas*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.



- Cunningham, G., Leveno, K., Bloom, S. Hauth, J., Rouse D. & Spong, S. (2011). *Williams Obstetricia*. 23° Edición. Mc Graw Hill, Mexico.
- Del Cura, J., Pedraza, S. & Gayete, A. (2010). *Radiología Esencial*. SERAM. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- Esqueda, J. & Palafox, L. (2005). *Fundamentos de Procesamiento de Imágenes*. UABC, Baja California, Mexico.
- FAO (2014). *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y el Caribe*.
- Ferrer-Roca, O. (2001). *Telemedicina*. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- Gavidia, G. Landrove, M. & Cerrolaza, M. (2010). *Una metodología mejorada basada en imágenes médicas para la generación de modelos 3D*. Universidad Central Caracas, Venezuela.
- Gonzales, J. (2011). *Manual práctico de tomografía*. España
- Heldman, D. R., & Hartel, R. W. (1997). *Principles of food processing. Freezing and frozen-food storage*. Chapman & Hall. Nueva York, 113-137.
- Hofer, M. (2005). *Manual práctico de TC*. 5ta Edición. Editorial Médica Panamericana, Madrid.
- Hossian, M., Cleland, D., & A.C., C. (1992). *Prediction of freesing and thawing times foor foods of regular multidimensional shape by using and analytically derived geometric factor*. Rev. Int. Froid Vol 15, 227-234.
- Horna, L. (2010). *Reconstrucción 3D multi-ocular*. México D.F.
- Ince, A. (2015). *The new approach to sport medicine: 3-D Reconstruction*. Ordu University Ordu. Turkey.
- Ige, M. (2010). *Tomografía Computarizada Volumétrica: Cone Beam*. Perú.



- Kadoury, S., Cheriet, F. & Labelle H. (2009). *Personalized X-ray 3- D reconstruction of the scoliotic spine from hybrid statistical and image-based models*. IEEE Trans Med Imaging.
- Latorre, R. & López-Barneo, J. (1996). *Biofísica y Fisiología Celular*. Grafivalme, S.L. Sevilla, España.
- Li, J., Nie, L., Li, Z., Lin, L., Tang, L. & Ouyang, J. (2012). *Maximizing Modern Distribution of Complex Anatomical Spatial Information: 3D Reconstruction and Rapid Prototype Production of Anatomical Corrosion Casts of Human Specimens*. Southern Medical University, Guangzhou, People's Republic of China
- López, A. (2013). *Desarrollo de un modelo tridimensional de ventrículos humanos anatómicamente detallado para simulación de electrofisiología cardíaca*. España.
- López, C. (2014). *Análisis de cuerpos no rígidos usando algoritmos de difusión para la detección de simetría en modelos 3D*. Perú.
- Masero, V. (2015). *Una nueva metodología de segmentación de imágenes basada en contornos activos. Aplicación a la segmentación de imágenes médicas para la reconstrucción tridimensional de estructuras anatómicas*. España.
- Molina, CA. (2014). *Reconstrucción 3D de racimos de bayas de uva de vinificación basada en detección de elipses sobre imágenes de estereovisión*. España.
- Passariello, G, Mora, F. (1995). *Imágenes Médicas: Adquisición, análisis, procesamiento e interpretación*. 1ra edición. EQUINOCCIO. Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas.
- Ordoñez, C., Del Valle, J., Sobrino, B. & Montoya, J. (2014). *Resonancia Magnética Funcional (RMF) hecha fácil*. SERAM. Madrid, España



- Perry, J. S., Bennett, A. H., Minh, T.V. (1968). *Experiments with a prototype commercial forced-air precooler on peaches, potatoes, apples and strawberries*. University of Georgia.
- Publicaciones Vértice (2008). *Tratamiento de la fotografía digital (2008)*. Málaga: Vértice.
- Restrepo, A. (2012). *Alternativas para la conservación de aguacate (Persea americana Mill, variedad Hass) en la inhibición del pardeamiento enzimático*. Colombia. Corporación Universitaria Lasallista.
- Trejo, A. (2010). *Importancia de la cadena de frío en frutos tropicales y subtropicales*.
- Tucci, A. (2010). *Obtención de imágenes médicas*. IVIC. Venezuela.
- Virsedá, P., & Pinazo, J. (1998). *Métodos de transferencia de calor en la refrigeración y congelación de alimentos*. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 161-167.
- X. Li, X. Wang, Y. Dai, P. Zhang, (2015), *La segmentación recursiva supervisada de imágenes volumétricas CT para la reconstrucción 3D de los pulmones y los vasos árbol*. China.

ANEXO A

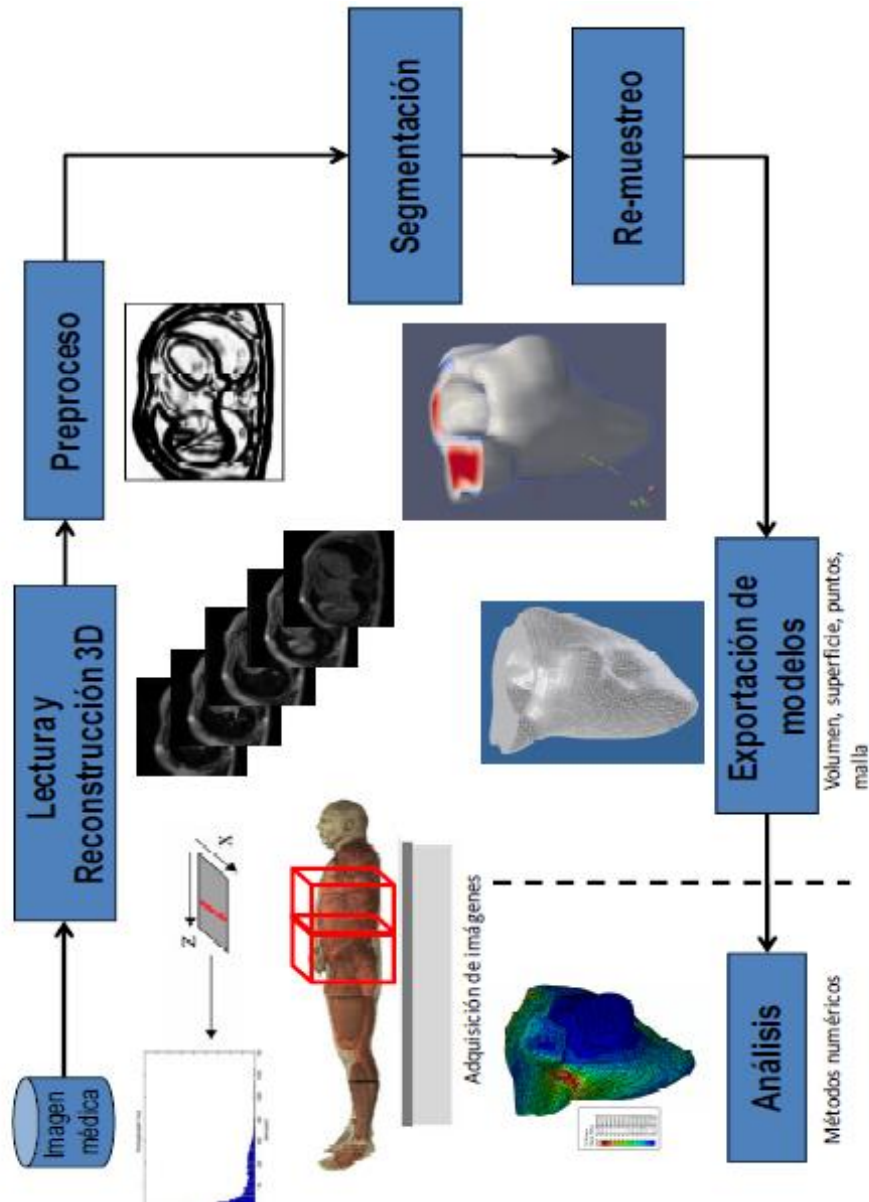


Figura 29. (Gavidia, 2010) Esquema de procesos y rutinas implementados en una herramienta desarrollada en MATLAB





ANEXO B

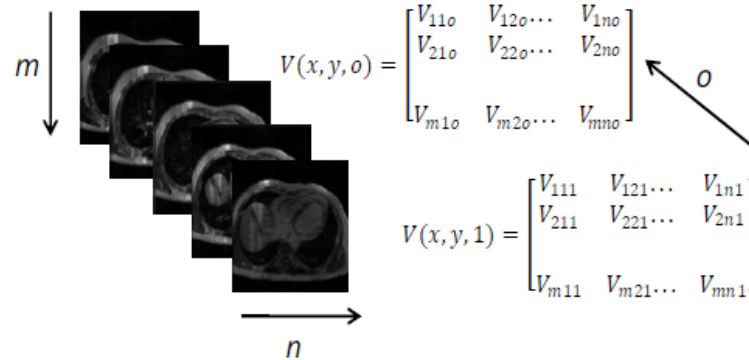


Figura 30. (Gavidia, 2010) Representación tridimensional de una imagen médica, donde cada elemento  $V_{x,y,z}$  de la matriz 3D es un voxel.

ANEXO C

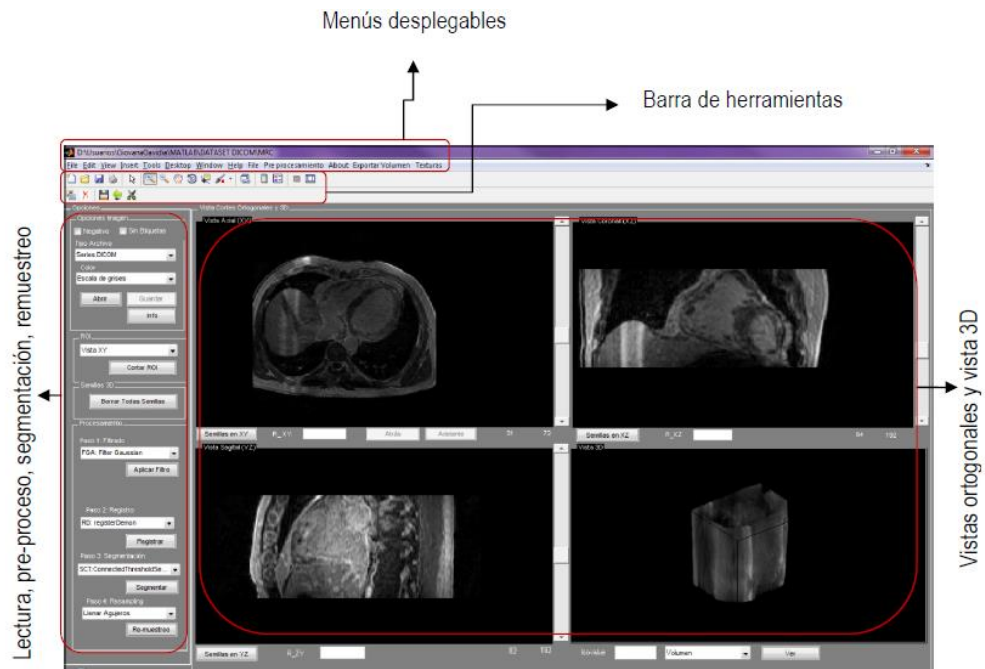


Figura 31. (GAVIDIA et al., 2009) Captura de pantalla de la GUI principal de la herramienta desarrollada en MATLAB. En la imagen se observan las tres vistas ortogonales y la vista 3D

