



**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 REPRESENTACIÓN
VOLUMÉTRICA DIGITAL**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE SISTEMAS**

Autor (es):

Bach. Asenjo Medina Christian Wilmer

Asesor:

Ing. Mejia Cabrera Heber Ivan

**Línea de Investigación:
Ciencias de la Computación**

**Pimentel – Perú
2017**



Reconstrucción 3D a partir de imágenes Tomográficas de frutos con pepa, utilizando la técnica de representación volumétrica digital

Aprobación de la Tesis

Dr. Gutierrez Gutierrez Jorge Luis
Presidente del jurado de tesis

Ing. Cobeñas Sánchez Rosa América
Secretario del jurado de tesis

Ing. Mejía Cabrera Heber Ivan
Vocal del jurado de tesis

DEDICATORIA

Este presente proyecto de investigación se lo dedico a Dios, que me permitió llegar a este momento tan especial en mi vida. Donde cada momento bueno o malo me han enseñado a valorarlo cada día más, A mi madre por ser la persona que siempre me acompaño durante toda mi etapa estudiantil y de vida. A mi padre quien siempre tuvo los consejos adecuados para guiarme hasta culminar mi carrera profesional y también en la vida. A mis asesores por el apoyo incondicional en la elaboración del presente. Por ello deseo que el presente proyecto de investigación cuente con todos los requisitos pedidos.

EL AUTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia, a mi Padre, mi Madre; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. A la familia educativa que forjan el carácter moral y profesional a lo largo de nuestras vidas brindándonos las armas necesarias para desempeñarnos.

A todas aquellas personas que me apoyaron para el desarrollo de este proyecto de investigación, docente de área de Proyecto de Tesis de la USS, el ingeniero Víctor Alexis Tuesta Monteza, a mi asesor especialista, el ingeniero Mejía Cabrera Heber Iván, a mi amigo de investigación Anderson Sernaque Sernaque, 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.

EL AUTOR



INDICE

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	2
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCION	9
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.1. Situación problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Delimitación de la Investigación	14
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación.....	15
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	16
1.6. Objetivos de la Investigación.....	17
1.6.1. Objetivo general	17
1.6.2. Objetivos específicos.....	17
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de Estudios.....	18
2.2. Estado del Arte.....	23
2.3. Bases teórico científicas.....	26
2.3.1. Imagen digital:	26
2.3.1.1. Concepto:	26
2.3.1.2. Digitalización de imágenes:	27
2.3.1.3. Adquisición de imágenes:	27
2.3.1.4. Almacenamiento de Imágenes:.....	28
2.3.1.5. Procesamiento de Imágenes:.....	29
2.3.1.6. Visualización de Imágenes:	29
2.3.1.7. Tipos de imágenes digitales:.....	30
2.3.1.7.1. Mapa de bits:.....	30
2.3.1.7.2. Imágenes Vectoriales:.....	30
2.3.2. Imágenes médicas:.....	31
2.3.2.1. Concepto:	31
2.3.2.2. Tipos de imágenes médicas:.....	32



2.3.2.2.1. Rayos X:.....	32
2.3.2.2.1.1. Radiografía:	32
2.3.2.2.1.2. Mamografía:.....	33
2.3.2.2.2. Tomografías:	34
2.3.2.2.2.1. Tomografía Computarizada (TC):.....	34
2.3.2.2.2.2.1. Tomografía Computarizada Convencional:.....	36
2.3.2.2.2.2.2. Tomografía Computarizada Unicorte:	37
2.3.2.2.2.2.3. Tomografía Computarizada Multicorte:.....	37
2.3.2.2.2.2.4. Tomografía Computarizada Helicoidal:.....	38
2.3.3. Estándares de imágenes:	39
2.3.3.1. Join Photographic Experts Group (JPEG):.....	39
2.3.3.2. Graphic Interchange Format (GIF):	39
2.3.3.3. Portable Network Graphics (PNG):	40
2.3.3.4. Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM):.....	40
2.3.4. Técnicas de procesamiento de imágenes:.....	41
2.3.4.1. Procesamientos básicos:	41
2.3.4.1.1. Cambios de intensidad:	41
2.3.4.1.2. Procesamientos geométricos:.....	42
2.3.4.1.3. Filtrados frecuenciales:.....	42
2.3.4.1.4. Filtros de detección de bordes:.....	43
2.3.4.1.5. Umbralización:.....	43
2.3.4.2. Procesamientos avanzados:	44
2.3.4.2.1. Extracción de características:.....	44
2.3.4.2.2. Segmentación:	44
2.3.5. Imágenes Tridimensionales (3D):	45
2.3.5.1. Concepto:	45
2.3.5.2. Reconstrucción de Imágenes 3D:	45
2.3.5.3. Técnicas de Reconstrucción de Imágenes 3D:	46
2.3.5.3.1. Reconstrucción Multiplanar (MPR)	46
2.3.5.3.2. Reconstrucción de Superficie Sombreada (SSD):	47
2.3.5.3.3. Reconstrucción de Máxima Intensidad (MIP):.....	48
2.3.5.3.4. Representación Volumétrica Digital (VR):.....	49
2.4. Definición de términos básicos	55
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	59
3.1. Tipo y diseño de investigación	59



3.2.	Población y muestra.....	60
3.3.	Hipótesis	61
3.4.	Variables	61
3.5.	Operacionalización.....	61
3.6.	Abordaje metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos	62
3.7.	Procedimiento para la recolección de datos	63
3.8.	Análisis estadísticos e Interpretación de datos	64
3.9.	Principios éticos	67
3.10.	Criterios de rigor científico	68
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS		70
4.1.	Resultados en tablas y gráficos.....	70
4.1.1.	Pre procesamiento de Imágenes:	70
4.1.2.	Reconstrucción Tridimensional (3D):	71
4.2.	Discusión de resultados	73
CAPITULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN		74
5.1.	Introducción	74
5.2.	Desarrollo.....	74
5.2.1.	Obtención de las Imágenes	75
5.2.2.	Pre procesamiento de las Imágenes	79
5.2.3.	Reconstrucción Tridimensional (3D):	83
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		87
6.1.	Conclusiones.....	87
6.2.	Recomendaciones	88
REFERENCIAS.....		90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 (Paramo, 2015). Deterioro de una Fruta	10
Figura 2 (Wei, Guorong & Hua, 2009). Proceso de la Reconstrucción del Fémur.....	24
Figura 3 (Li, Wang, Dai & Zhang, 2015). Reconstrucción 3D de los pulmones y vasos utilizando imágenes CT	25
Figura 7 (Wikilibros, 2007). MPR Ortogonal 3D	46
Figura 8 (Álvarez, Herrera & Olguín, 2010). Reconstrucción Multiplanar	47
Figura 9 (Hofer, 2015) Fractura del radio distal (*) en la superficie ósea SSD 3D.....	48
Figura 10 Reconstrucción 3D, representado en los ejes (x, y, z)	49
Figura 11 Corte Transversal o Axial	50
Figura 12 Pixel y Voxel en cada imagen.....	50
Figura 13 (Gavidia, Landrove & Cerrolaza). Histograma con los niveles de gris de una imagen	52
Figura 14 Segmentación, si se quiere obtener una región de interés de la fruta.....	53
Figura 15 Reconstrucción 3D	55
Figura 16 Palta Real y Reconstrucción Volumétrica 3D.....	71
Figura 17 Esquema de procesos de la técnica de Representación Volumétrica Digital	75
Figura 18 Ejemplar: Palta Fuerte (tomas Frontal y Trasera)	76
Figura 19 Visualización de la Tomografías usando el software RadiAnt DICOM Viewer	76
Figura 20 Reconstrucción 3D, utilizando la técnica de Representación Volumétrica Digital con 80 Cortes Tomográficos	77
Figura 21 Obtención de 100 Cortes Axiales	77
Figura 22 Montaje de las Imágenes Tomográficas	78
Figura 23 Muestra de una Imagen Tomográfica de la Palta - Corte Axial	78
Figura 24 Imagen con el Algoritmo de Canny	81
Figura 25 Imagen con Canny - Imagen con Máxima Intensidad, ambas segmentadas.....	81
Figura 26 Imagen Binaria (Blanco y Negro).....	82
Figura 27 Limpiamos Imperfecciones - Identificamos Manchas.....	82
Figura 28 Selección de región (Representación normal y Realzado de Contornos)	83
Figura 29 Proceso de la Técnica Representación Volumétrica Digital	84
Figura 30 Visualiza el Contorno y Volumen de la Imagen.....	85



Figura 31 Reconstrucción Volumétrica 3D de la Palta	85
Figura 32 (Gavidia, 2009) Proceso de reconstrucción por volumen de órgano	93
Figura 33 (Gavidia, 2009). Reconstrucción por volumen usando un software desarrollado en MATLAB.....	93
Figura 34 Interfaz Gráfica Adquisición y Lectura - Plataforma Matlab. Elaboración Propia ...	94
Figura 35 Interfaz Gráfica Pre procesamiento y Reconstrucción 3D - Plataforma Matlab. Elaboración Propia	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad de representaciones por modelo reconstruido	60
Tabla 2 Operacionalización por Variable Dependiente e Independiente.....	62
Tabla 3 Formulas de Volumen de Solidos Geométricos	66
Tabla 4 Resultados del Tiempo de Respuesta del Pre procesamiento de Imágenes.....	70
Tabla 5 Formulas para el cálculo de Volumen en la Imagen	72
Tabla 6 Medidas de la Imagen Real y la Imagen 3D	72
Tabla 7 Algoritmos de Pre Procesamiento.....	79
Tabla 8 Cuadro Comparativo de Técnicas de Reconstrucción 3D.....	84

RESUMEN

Este proyecto de investigación es realizado con el fin de modelar la geometría real de la estructura de una fruta con pepa, para ayudar al cálculo adecuado de tiempo de conservación que necesita dicha fruta, por lo cual no hemos creado la siguiente interrogante: ¿Cómo podemos generar una imagen más confiable de una fruta con pepa?, es por este motivo que proponemos hacer una reconstrucción tridimensional (3D) de una fruta con pepa, para esta investigación he creído conveniente utilizar la técnica de representación volumétrica digital que utilizará una serie de imágenes tomográficas (TAC) que sacaremos al ejemplar de una palta, estas imágenes pasarán por una fase de pre procesamiento y posteriormente generar un representación tridimensional (3D) de dicha fruta. El método completo iniciará con el desarrollo de un software de procesamiento de imágenes biomédicas en formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) que será realizado en MATLAB®.

Palabras clave: imágenes tomográficas, imágenes biomédicas, representación volumétrica digital, reconstrucción tridimensional.



ABSTRACT

This research project is carried out in order to model the actual geometry of the structure of a fruit pit, to help the proper calculation of shelf in need of such fruit, so we have not created the following question: How can we generate a more reliable picture of a fruit pit ?, is why we propose to do a three-dimensional (3D) reconstruction of a fruit pit, for this research have seen fit to use the technique of digital volumetric representation will use a series of images tomographic (CT) that we will remove the copy of an avocado, these images go through a processing stage and then generate a three-dimensional representation (3D) of the fruit. The complete method starts with the development of a software processing of biomedical images in DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) to be held in MATLAB®.

Key Words: tomographic imaging, biomedical imaging, digital volumetric representation, three-dimensional reconstruction



INTRODUCCION

En la actualidad, existe un gran problema con el cambio fisiológico o deterioro de 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 frutas, se aplican 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 representación volumétrica digital.

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.



CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

Las patologías post-cosecha ocupan un lugar importante en el grupo de enfermedades de frutas, representado un serio problema para las exportaciones de las mismas. Según L. Páramo (2015). Las pérdidas post-cosecha exceden el 30 % en muchos países en desarrollo y en regiones tropicales y subtropicales ascienden hasta 40-50%. El deterioro y alteración de los frutos es una constante preocupación para el ser humano, ya que su objetivo es conservarlo el mayor tiempo posible y asegurar su disponibilidad.

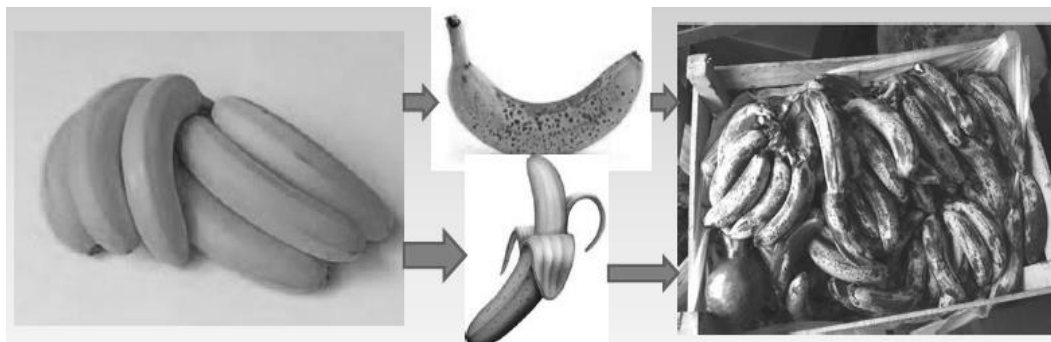


Figura 1(Paramo, 2015). Deterioro de una Fruta

Según Restrepo (2012), dice que el deterioro de los alimentos ha sido atribuido por muchas causas incluyendo cambios físicos, químicos y microbiológicos. Estas variaciones fisiológicas se ven acompañadas por pérdidas de características sensoriales como sabor, aroma y color, además de pérdida de vitaminas, deterioro del tejido, disminución de volumen, lo cual lleva a una vida útil muy corta. Las reacciones de pardeamiento enzimático limitan la vida comercial de la palta conocida científicamente como “persea

americana”, esto debido a que alteran su color, por eso uno de los propósitos para los procesadores es mantener el color durante el almacenamiento.

Los síntomas deteriorativos visibles se presentan cuando los frutos se encuentran en el mercado de consumo. Frutos infectados incluso, pueden no ser detectados en las inspecciones de calidad que comúnmente se realizan en el empaque. Esto lleva a la necesidad de su conservación, mientras un fruto se mantiene verde, las infecciones permanecen en quiescencia, lo que hace imposible su remoción del empaque.

Por ello se utilizan algunas técnicas de conservación que se aplican para controlar el deterioro de la calidad de alimentos, dicha técnicas son la refrigeración y la congelación. La importancia de cualquier proceso de conservación es reducir la ocurrencia y crecimiento de microorganismos deteriorativos y patógenos.

Existen métodos que han sido ampliamente estudiados desde 1978 hasta 1995, donde se desarrollaron programas informáticos que trabajaban con el método de los factores de respuesta, para la aplicación en productos agroalimentarios basados en formas geométricas simples (cilindros y esferas).

Diferentes investigadores tuvieron propuestas de modelos basados en el factor forma, por ejemplo Pham (1991), propuso un modelo para el cálculo



de tiempos de enfriamiento que necesita los 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 & Hartel (1997) junto a Gómez, Cerón, Rodríguez, & Vázquez, (2007) los factores que influyen en el tiempo de enfriamiento de productos alimenticios se deben principalmente a las características del alimento y las condiciones del equipo en el cual se va a llevar a cabo el proceso.

Se observa, que los modelos propuestos para el cálculo de tiempos de congelamiento que necesita el fruto, toma como referencia su forma, 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 diversos productos agroindustriales en especial, las frutas (la palta) poseen una forma que se aproximan a figuras geométricas conocidas, pero tienen múltiples variantes, incluso algunas poseen pepa, por lo que un cálculo de enfriamiento no estaría siendo el adecuado.

El presente proyecto pretende reconstruir la forma de real del producto en tres dimensiones, utilizando el procesamiento de imágenes tomográficas, tomadas a los alimentos, y así poder generar una forma más cercana a la

real que permitirá hacer mejores cálculos sobre el nivel de refrigeración que necesita dichos alimentos.

La reconstrucción 3D es el proceso que permite reproducir objetos reales, en la memoria de una computadora, manteniendo sus características físicas (dimensión, volumen y forma).

Los datos de una imagen digital son adquiridos y manipulados en una matriz de volumen llamada voxels. Una imagen es construida analizando cada voxel y es proyectado en una superficie bidimensional la cual es la pantalla de un ordenador bidimensional, esta imagen corresponde a un cierto volumen y es subdividida en pequeños elementos llamados pixels.

Uno de los principales problemas que debemos resolver es intentar ver una imagen en tres dimensiones (3D) sobre una superficie de dos dimensiones (2D) (pantalla del ordenador, placa.). Para solucionar este problema y poder visualizar la imagen 3D en el ordenador se requiere de un algoritmo que sea capaz de realizar la conexión del conjunto de puntos representativos del objeto en forma de elementos de superficie, ya sean triángulos, cuadrados o cualquier otra forma geométrica.

La eficiencia de las técnicas utilizadas define la calidad final de la reconstrucción, existen muchas formas de trabajar con las imágenes tridimensionales. Debiendo atravesar por un conjunto de etapas para convertirse en una adquisición 3D.



Según Remondino (2003). Describe un sistema de reconstrucción 3D con las siguientes etapas: adquisición y análisis de secuencia de imágenes, calibración y orientación de las imágenes, proceso de matching y la generación de puntos y modelado 3D.

La imagen tridimensional obtenida a partir de imágenes tomográficas, ha permitido evaluar de manera satisfactoria estructuras óseas, y gracias a la técnica de volumen mejora su detalle, aumenta la profundidad y el relieve tridimensional de las imágenes. El proyecto abordará, la captura de imágenes tomográficas, la reconstrucción 3D y su posterior simulación.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo reconstruir una imagen tridimensional (3D) a partir de imágenes tomográficas de frutos con pepa?

1.3. Delimitación de la Investigación

El proyecto de investigación se realiza en los ambientes del laboratorio de investigación en sistemas inteligentes y seguridad informática (LABSIS) perteneciente a la escuela profesional de ingeniería de sistemas, también se utilizó nuestros ambientes domiciliarios para esta investigación.

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.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

C. Bóveda, J. López, and T. Clavel. (2012). dice que el hacer una reconstrucción 3D utilizando tomografías ha tenido por resultado representaciones precisas y de alta calidad de un objeto óseo (huesos). Entonces, el tener tomografías de frutos con pepa nos ayudará a obtener representaciones en 3D confiables que pueden ser utilizadas para saber el adecuado procesamiento del fruto, permitiendo incluso predecir el momento en que va a madurar. Esto serviría para almacenar el fruto a una temperatura y humedad optima 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 de desórdenes fisiológico.

Según J. Álvarez, J. Herrera and M. Olguín (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, huesos u objetos estudiados con respecto a sus 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 estructuras tridimensionales fácil y rápida. Reconstruye y muestra representaciones 3D que permiten realizar un diagnóstico más fiable.

1.5. Limitaciones de la Investigación

La principal limitación que se nos presenta se da por la cantidad de muestra que podemos obtener, ya que no contamos con maquinaria que nos proporcione las imágenes tomografías que necesitamos. Por ello, para esta investigación trabajaremos con un solo ejemplar de fruta, la Palta Fuerte, ya que conseguir esta clase de imágenes médicas es difícil de conseguir y son de muy alto costo. El costo a pagar se basa en el uso del tomógrafo y se multiplicaría por la cantidad de frutos a evaluar.

1.6. Objetivos de la Investigación

1.6.1. Objetivo general

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

1.6.2. Objetivos específicos

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



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Se han desarrollado diversos trabajos donde han utilizado diferentes formas de reconstrucción tridimensional (3D), y también donde utilizan la técnica de representación volumétrica pero con imágenes de áreas corporales y faciales.

Tenemos a Camacho (2013 - México), con su investigación “*Sistema de Reconstrucción 3D Multicámara*”, donde el objetivo es desarrollar un sistema de visión 3D mediante múltiples cámaras y metrología óptica. Se realizó un sistema de reconstrucción de objetos en 3D, el cual fue utilizado para obtener la superficie de una horma de calzado. Se implementó la técnica de línea de luz láser, obteniendo la topografía mediante aproximación Gaussiana. La Técnica de metrología láser implementada también puede ser usada a nivel industrial, como herramienta de inspección e ingeniería en procesos poco críticos, sin embargo para su uso en procesos en serie se vería limitada por el tiempo de procesamiento.

Se está presentando un sistema sencillo, eficiente y confiable que se encuentran en el mercado dentro del ámbito del sector calzado y biomédico. Es un método no invasivo que presenta componentes con una gran tolerancia a diversas condiciones del medio.



También tenemos a Bautista (2014 - México), con su investigación *“Elaboración de un modelo tridimensional de las vías aéreas superiores y estructuras anexas a partir de imágenes tomográficas”*, donde el objetivo es la obtención del modelo tridimensional de las vías aéreas superiores y sus cartílagos anexas. Su fin es la optimización de las imágenes tomográficas, mediante el procesamiento digital, para realizar la reconstrucción tridimensional de las formas anatómicas de las vías aéreas superiores utilizando una de las funciones del software de visualización Amira.

El grado de efectividad de la implementación de técnicas de procesamiento digital a la pila de imágenes tomográficas, de tal manera que se optimicen los datos, para una reconstrucción volumétrica depende del análisis realizado de los elementos que intervienen en la generación.

Es necesario conocer las características fundamentales de las imágenes, como su histograma, la clase de datos, la calidad y contenido de la información en el estudio. Lo siguiente es identificar la naturaleza de los órganos, su distribución y sus interacciones con los rayos X (se habla únicamente de la tomografía en su modalidad radiológica) para idear la estrategia que se pretende seguir para lograr la mejor reconstrucción o determinar la imposibilidad de optimización.

La adquisición de imágenes tomográficas se llevó a cabo en equipo marca Philips, modelo MX 8000. Los archivos generados son una pila de imágenes en formato DICOM, la cual fue analizada para la aplicación adecuada de las técnicas de procesamiento por medio de la implementación de los algoritmos desarrollados en el software de MATLAB a los archivos DICOM.



Las imágenes resultantes se reconstruyeron en la plataforma de visualización Amira. Finalmente, para la caracterización de las formas anatómicas (modelado de estructuras suaves, asignación de colores y algunas texturas), se migraron los datos obtenidos con el formato VRML “Lenguaje para Modelado de Realidad Virtual” (estándar utilizado para la representación tridimensional de gráficos) al programa de animación en 3D, Autodesk Maya en donde se obtuvo el modelo final que comprende las vías aéreas superiores.

Se presenta la documentación del proceso de obtención del modelo 3D de las vías aéreas superiores y sus anexos, iniciando por la adquisición de imágenes tomográficas y mediante el procesamiento digital poder realizar la reconstrucción tridimensional de las formas anatómicas.

Tenemos a Horna (2010, México), con su investigación “*Reconstrucción 3D Multi-Ocular*”. El objetivo principal es la reconstrucción 3D empleando dos imágenes fotográficas obtenidas de diferentes ángulos para lograr la toma del escenario general, siendo de ayuda para la realización de aplicaciones como: Generación de mapas, paseos virtuales, navegación mencionando algunos.

Puede surgir problemas en la reconstrucción 3D se produciría al no haber una correspondencia perfecta entre las imágenes. Se propone utilizar un tipo de técnica donde 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 que tenga los objetos presentes en una escena dada.

En la investigación se muestra la importancia de la profundidad de los objetos en un escenario que 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 adecuada.

También tenemos a Míguez (2013 - España), con su investigación *“Estudio comparativo cefalométrico de imágenes bidimensionales y volumétricas obtenidas con tomografía computarizada de haz cónico”*, que tiene por objetivo el estudio de comportamientos de la consistencia media y precisión en la ubicación de puntos cefalómetros óseos en imágenes bidimensionales (2D) y reconstrucciones tridimensionales volumétricas (3D), a partir de tomografías computarizadas.

Se realizó un estudio observacional con un tipo de corte transversal, se cuantificó la consistencia media y precisión de 16 observadores divididos en 4 grupos cada uno con diferente experiencia en trazado cefalométrico en 2D y sin experiencia en trazado en 3D.

La formación académica y experiencia en ortodoncia de los observadores influyeron al comparar la consistencia media (CM) y la precisión (SD) en localizar puntos cefalométricos óseos en imágenes bidimensionales (2D) y reconstrucciones volumétricas (3D).

El estudio se realizó con fines ortodóncicos, y utilizando tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT), lo cual permitió valorar el uso de los



aparatos CBCT por sus ventajas de captación volumétrica que aportan al diagnóstico clínico, plan de tratamiento y educación al paciente.

Entre otros trabajos también tenemos del medio nacional a 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. En el futuro se importarán nuevos sistemas imaginológicos para el desarrollo de la odontología en nuestro país.

Conocer esta tecnología es importante debido a que en futuro se adquirirán más tomógrafos computarizados que son muy importantes para el análisis médico en el área maxilofacial y dental ya que tienen la capacidad de obtener una resolución submilimétrica y precisa.

Se debe tener en cuenta que el campo visual debe ser utilizado con criterio para las necesidades del diagnóstico posterior.

La imaginología de tercera dimensión (3D) 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 componentes claves y detectar simetría en cuerpos no rígidos. Se presentaron los siguientes algoritmos:



El primero, permite detectar puntos de interés mediante un algoritmo eficiente, trata sobre la complejidad computacional lineal en referencia al número de faces de la triangulación del modelo.

El segundo algoritmo que se está proponiendo, permite detectar componentes claves basado en procesos de difusión y comparandolo con el método propuesto por Ivan Sipiran, quien refirió key components con regiones del modelo que representan altas derivaciones incorrectas en la estructura.

Finalmente, el tercer algoritmo propuesto, permite detectar la simetría mediante procesos de difusión. Por eso, en los experimentos, se encontró que la detección de simetría funciona correctamente en los modelos con simetría extrínseca, para la distancia geodésica y por difusión. Sin embargo, este algoritmo, al utilizar distancia geodésica ocurre una 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, pero se tendría en cuenta algunos puntos como forma de la malla del objeto, la cantidad de triángulos y las técnicas utilizadas para encontrar la simetría del objeto.

2.2. Estado del Arte

W. Wei, W. Guorong, C. Hua, (2009), describe *“La reconstrucción 3D de un fémur eje utilizando un modelo y dos imágenes 2D de rayos x”*. El objetivo es la reconstrucción 3D utilizando un modelo de plantilla de fémur y dos imágenes 2D de rayos x. Se propuso un método de reconstrucción y tuvo un resultado aceptable, se formó un eje fémur 3D utilizando imágenes de rayos



x tomadas de un aparato de bajo costo, esto permitió tener una mejor diagnóstico clínico en base a la imagen que se disponga. Se usa un modelo de plantilla de fémur (a), dos imágenes de rayos x en 2D que se tomaron en dirección ortogonal (b) (c), se detectan las curvas de nivel (d) (e) y las coordenadas de la línea de referencia eje (f) para la reconstrucción. Se obtienen las imágenes de rayos x y pasan por una etapa de procesamiento donde utilizaron algoritmos de filtrado de ruido, ecualización de histograma y métodos clásico de detección de bordes para luego pasar a la comparación de resultados. Los resultados fueron analizados por cortes. El primer corte “Slice1” tuvo mayor promedio de error con 3.7749 y el menor fue el segundo corte “Slice2” con 0.6467.

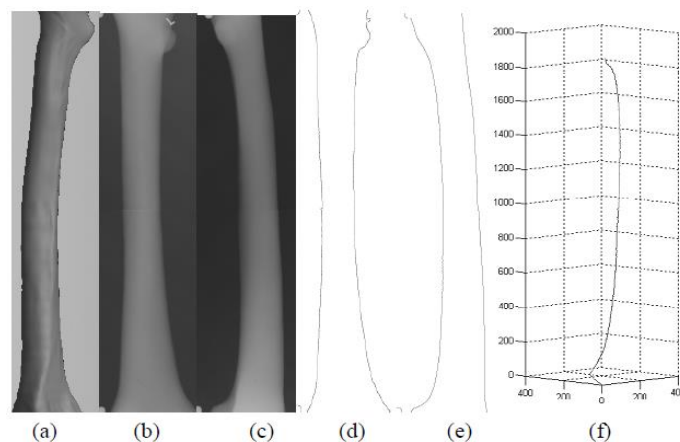


Figura 2 (Wei, Guorong & Hua, 2009). Proceso de la Reconstrucción del Fémur

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 que se basa en contornos geométricos para extraer los tejidos pulmonares de los cortes tomográficos volumétricos con precisión que se

obtenham. Tendremos representaciones 3D de los pulmones y vasos que se modelan gracias al conjuntos de datos extraídos y así se podrá obtener una observación y análisis cuantitativo en 3D para las enfermedades pulmonares.

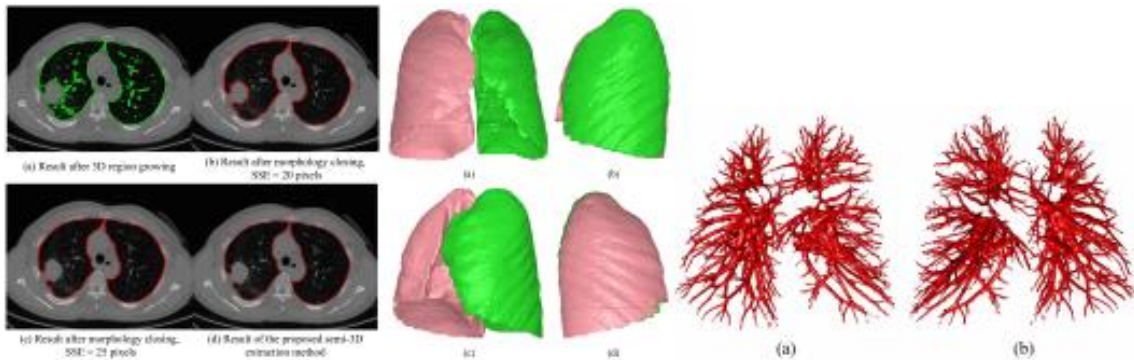


Figura 3 (Li, Wang, Dai & Zhang, 2015). Reconstrucción 3D de los pulmones y vasos utilizando imágenes CT

G. Gavidia, (2009), presenta el “*Desarrollo de una herramienta de procesamiento de imágenes médicas en MATLAB y su integración en medical GiD*”. El objetivo es el desarrollo de una herramienta computacional para el procesamiento de imágenes médicas y la obtención de modelos geométricos o representaciones de órganos y diferentes estructuras del ser humano.

El desarrollo de esta herramienta fue elaborado por algoritmos de desarrollo propio en Matrix Laboratory (MATLAB) y la integración de librerías de código libre.

Los procesos implicados en procesamiento de imágenes son, la adquisición y lectura de las imágenes médicas, el filtrado o mejora de las imágenes como acentuar detalles de interés, etc., segmentación o extracción de regiones de interés en 2D y 3D para su posterior análisis, y la visualización



de las regiones segmentadas en vistas adecuadas (volumen, superficie, malla) para su manipulación por parte del usuario.

Se trabajó en la segmentación y visualización del ventrículo izquierdo, músculo miocardio; Tomografías Computarizada craneofaciales para obtener el volumen del hueso mandibular y maxilar; y también se procesaron imágenes de mamografía, para localizar áreas sospechosas y micro calcificaciones en las glándulas mamarias.

Se está presentando el prototipo de un software para el procesamiento de imágenes médicas, que incluirá un conjunto de funcionalidades que servirán de soporte a los médicos, al facilitarles el análisis de estructuras anatómicas de una manera no invasiva. Anexos A y B. *Figuras* [32] [33].

2.3. Bases teórico científicas

2.3.1. Imagen digital:

2.3.1.1. 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 se denomina al conjunto de puntos presentados en las coordenadas (x, y), a estos se les divide en una mínima porción de la imagen y se les llama pixeles. La imagen o representación que se visualiza es resultado de la reflexión de luz sobre los objetos. Esto depende de la iluminación de la escena con la reflectancia propia de los objetos presentes.



2.3.1.2. 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]. La rapidez del uso del sistema binario de numeración, permite que el sistema realice distintas operaciones. Asociar la tecnología digital con la informática facilita en almacenar información en diferentes soportes, también permite el mejor tratamiento y análisis de alguna presentación anormal en la 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 toma un conjunto de elementos, software y hardware para el procesamiento hasta que llegue a la visualización de dicha imagen.

2.3.1.3. Adquisición de imágenes:

(Passariello & Mora, 1995) Nos dicen que es necesario para esta etapa dos elementos principales, el primero, un dispositivo sensible a algún tipo de radiación electromagnética (luz visible, rayos x, etc.) luego traducida a una señal eléctrica, y el segundo, un dispositivo digitalizador que convierta la señal eléctrica en cantidades binarias que puedan ser manipulables y



dirigidas al software. Existe un tercer elemento que es opcional pero que puede ser de gran utilidad, se trata del pre-procesamiento por hardware que restaura la señal eléctrica y así evitar una posterior alteración de información.

Según (Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) “En el area de la medicina, las representaciones obtenidas de la interacción 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 de modelado tridimensional, pues se reproduce órganos virtuales, para obtener de ellos cualquier perspectiva de la región de interés que queramos analizar, gracias a la simulación.

2.3.1.4. Almacenamiento de Imágenes:

(Passariello & Mora, 1995) nos dicen que, “Una vez llegue a digitalizarse la imagen es parcialmente almacenada en una memoria temporal (memoria de alta velocidad) que sirve de base al procesamiento y sirve de enlace entre la digitalización y la memoria de almacenamiento permanentemente (memoria lenta)”, [p. 37]. Estas señales recogidas y que son transformadas a señales digitales; permite representar una imagen. Todo este cálculo es realizado en la memoria temporal, cuando concluye este determinado proceso. La información es guardada en una memoria permanente para

ser utilizada posteriormente, ya sea para su visualización, modificación y almacenamientos necesarios en el futuro.

2.3.1.5. Procesamiento de Imágenes:

Según (Passariello & Mora, 1995) “El procesamiento es la realización en software de algoritmos desarrollados para la extracción de información contenida en dichas representaciones o imágenes”, [p. 37]. Después de tener organizada la información recogida por el ordenador, como pasan a ser digitalizados los datos se puede resolver ciertos cálculos matemáticos correspondientes, Otorgando a cada pixel un valor (correspondiente al coeficiente de atenuación), este número de pixeles se basa a una escala de grises que nos permitirán reconstruir la imagen o representación a visualizar.

2.3.1.6. Visualización de Imágenes:

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



2.3.1.7. Tipos de imágenes digitales:

2.3.1.7.1. Mapa de bits:

(Publicaciones Vértice, 2008) afirman que “Un mapa de bits es una representación o imagen formada por un conjunto de puntos (píxeles) cada uno de los cuales, con sus propias características, [p. 4]. Cada punto tiene designado un color y unidos todos los puntos forman la imagen. Si el usuario decide ampliar la imagen apreciara que esta pierde su calidad, al hacer ese acercamiento notaremos con más claridad la que se refiere el mapa de bits. La cantidad de puntos (píxeles) que tenga el mapa de bits determinara su tamaño y su resolución.

2.3.1.7.2. 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 se les conoce por ser un conjunto de puntos, dichos puntos individualmente se les conocen como nodo y son atravesados por una línea que se les puede comparar a las manecillas de un reloj, así permitirnos manipular la línea, moverla o estirla de manera simple y sin distorsión hasta obtener el contorno preciso.



Se describió que es una imagen digital, el procesamiento digital necesario en una imagen real y los tipos de imágenes digitales más utilizados o comunes hoy en día, pero entre otras imágenes digitales existentes también contamos con imágenes médicas.

2.3.2. Imágenes médicas:

2.3.2.1. Concepto:

(Passariello & Mora, 1995) nos relatan “El hecho ocurrió cuando el físico Willian Conrad Röntgen ideó experimentar con un tubo de rayos catódicos recubierto con papel negro y en una habitación oscura, observo que un papel de platinocianuro de bario que se encontraba cerca casualmente, se ilumino. Ha este tipo de radiación se le denomino Rayos X”, [p. 1]. Se observó que el rayo también pasaba por otros tipos materiales, incluyendo carne humana. Gracias al descubrimiento de la radiación X, hoy en día existe una rama o especialidad médica dedicada a las aplicaciones y desarrollo de los rayos X, la cual es la radiología.

Este gran avance para la medicina nos permite en la actualidad tener la visualización de áreas internas del cuerpo, mediante estas imágenes, además de observar la estructura ósea, para su estudio y entre otras cosas, la detección y el entendimiento de anomalías en el organismo humano.



Los rayos X actualmente no se es recomendable de utilizar ya que se comprobó la presencia de daños en los tejidos del ser humano al estar expuestos a altas dosis de radiación.

Se encontraron 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), y otros procedimientos que aparecieron.

2.3.2.2. Tipos de imágenes médicas:

2.3.2.2.1. Rayos X:

(Tucci, 2010) Nos dice que los rayos X son descritas como ondas de energía o también llamadas radiaciones electromagnéticas con capacidad para atravesar la piel del ser humano y los músculos, y son absorbidas por sustancias más densas como los huesos. Sin embargo, la exposición a los rayos X por mucho tiempo puede dañar las células orgánicas. Entre los tipos de rayos X más comunes tenemos:

2.3.2.2.1.1. Radiografía:

Según (Tucci, 2010) “Es una imagen permanente en una placa que se obtiene al exponerla a una fuente de radiación”, [p. 49]. Es una técnica de imagen médica muy habitual que utiliza los rayos X. Permite la

visualización de órganos, huesos o alguna área del cuerpo, sobre una pantalla de ordenador. Este examen es utilizado por la gran mayoría de especialidades médicas para precisar un diagnóstico. Las radiografías se solicitan a menudo, entre otras cosas, para buscar una fractura, estudio de los pulmones (radiografía de tórax) o para visualizar el abdomen a través de la llamada ASP.

2.3.2.2.1.2. 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 un detector digital de rayos X y pasa a ser almacenada en la memoria del computador”, [p. 36]. Se obtiene con menos dosis de radiación, su almacenamiento no es complejo, podemos presenciarla en mejor tiempo para su examinación y es tan precisa como la convencional, pero su costo es de 1,5 a 4 veces mayor.

La mamografía digital es eficaz para la detección temprana de cáncer, lo cual permite evaluar un tratamiento efectivo, además de poder remitir estas imágenes a otros especialistas.



2.3.2.2.2. 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 diferente información de áreas en representaciones o imágenes. Involucra la proyección de datos de diferentes direcciones. Entre los tipos de tomografías tenemos:

2.3.2.2.2.1. Tomografía Computarizada (TC):

(Tucci, 2010) afirma que “Es una técnica de diagnóstico utilizada en medicina para explorar el cuerpo humano”, [p. 91]. El haz de rayos X rota alrededor del cuerpo del paciente para crear imágenes detalladas, o exploraciones, de regiones internas del cuerpo. Esta técnica muestra los órganos, los huesos, y otros tejidos en forma de rebanada delgada del cuerpo.

El haz colimado, después de haber traspasado las diferentes estructuras que presenta el cuerpo del paciente como espesor y densidad, esos datos obtenidos llegan al detector. La señal detectada es enviada primero al computador y luego al monitor o a la impresora.



Permite obtener imágenes de cortes milimétricos perpendiculares respecto al eje que atraviesa verticalmente nuestro cuerpo de la cabeza a los pies, 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, tumorales, cáncer, apendicitis entre muchas otras. La detección temprana del cáncer es una de sus mayores ventajas.

La imagen tomográfica apoya al médico a hacer sus evaluaciones correctamente y permite al cirujano tomar decisiones acertadas, por lo que disminuyen considerablemente los costos de diagnósticos.

No debe confundirse la TAC con un rayo X convencional (placa simple), que de igual manera permite una visualización en dos dimensiones, pero con mucho menor detalle, debido a que se superponen las diferentes estructuras del organismo sobre una misma imagen y la radiación es emitida



de una forma difusa. En cambio, para la TAC se utiliza un haz y un grosor determinado, que depende del tamaño de la estructura a estudiar, puede variar desde los 0.5 mm hasta los 20 mm. Otra característica de los rayos x convencionales que marca la diferencia, son que las estructuras se ven radiolúcidas (en negro, por ejemplo, pulmón) y radiopaco (en blanco, por ejemplo, hueso), no pudiéndose diferenciar otro tipo de densidad.

2.3.2.2.2.1. Tomografía Computarizada Convencional:

(Gonzales, 2011) nos relata que “El tubo y los detectores se ubican en lados opuestos de un anillo que es el encargado de rotar 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, al finalizar cada rotación se detiene el escáner para que la camilla del paciente avance 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. La TC es la técnica de elección para adquirir imágenes axiales bidimensionales completas del cuerpo sin las desventajas de la superposición ósea o aérea de las radiografías convencionales.

2.3.2.2.2.2. Tomografía Computarizada Unicorte:

(Gonzales, 2011) nos cuenta 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, permitiendo que rotara a la misma vez el tubo de rayos X y la camilla donde estaba el paciente originando que se moviera de manera continua. En estos equipos también se pueden obtener reconstrucciones de gran calidad en cortes coronales, sagitales y oblicuos.

2.3.2.2.2.3. Tomografía Computarizada Multicorte:

(Gonzales, 2011) nos dice que “Los 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 representaciones de gran número de secciones.

Además, el tiempo de rotación de 1 seg. - 2 seg., típicos en equipos de corte único.

En consecuencia, en estas condiciones es posible escanear prácticamente todo el cuerpo de un adulto obteniendo un espesor de corte muy por debajo de 1 mm.

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

2.3.2.2.2.4. Tomografía Computarizada Helicoidal:

Según (Passariello & Mora, 2010) “La tomografía computarizada helicoidal tiene muchas ventajas sobre las técnicas tradicionales de TC: es muy rápida, eficiente, se obtiene muy buenas representaciones en tercera dimensión de áreas internas del cuerpo y puede detectar anomalías así sean pequeñas”, [p. 15]. La adquisición helicoidal ha mejorado considerablemente el rendimiento de la TC. Tiene varias ventajas como reducción de tiempo y se obtiene mejor

información para así tener representaciones 3D del volumen explorado.

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. Estándares de imágenes:

2.3.3.1. Join Photographic Experts Group (JPEG):

Según (Esqueda & Palafox, 2005). “Es un estándar para la compresión de imágenes”. [p. 97], Es el nombre del comité de expertos que creó este estándar de compresión y codificaciones de archivos, Es un método de compresión simétrico, que desarrolló una forma de almacenar imágenes digitales para la mejor percepción visual humana.

2.3.3.2. Graphic 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]. También conocido como formato de intercambio gráfico. Es un formato basado en un máximo de 8 colores planos, por lo tanto no es recomendable para imágenes de color real.

2.3.3.3. 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 por característica la profundidad de bits por color, visualización progresiva más rápida además de transparencia.

2.3.3.4. 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, debemos decir que nos facilita el 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 entidades con capacidad de recibir imágenes y datos de pacientes”, [p. 14]. Se reconoce por su extensión .dcm y necesita de programas como (Dicomworks, Efilm, etc) para su visualización y lectura. Cada fichero DICOM, contiene la imagen a estudiar, información o



datos 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, gracias a la informática nos permite realizar sobre estas imágenes, transformaciones o procesamientos que nos resalten el área a estudiar y posteriormente a diagnosticar, para el procesamiento contamos con:

2.3.4. Técnicas de procesamiento de imágenes:

2.3.4.1. Procesamientos básicos:

2.3.4.1.1. 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 píxeles de forma independiente” [p. 15], Se modifica los colores de cada píxel sin modificar su posición relativa. También se obtendrá variaciones del brillo o contraste, ecualizaciones y representaciones en falso color. Con este procesamiento de salida se trata de representar visualmente los valores obtenidos para cada coordenada de la imagen.



2.3.4.1.2. Procesamientos geométricos:

(Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) nos cuentan que “Básicamente se trata de la aplicación de desplazamientos y de rotaciones” [p. 16], significa el encontrar el mejor Angulo de visualización ya sea por percibir una mejor resolución de la imagen o que el usuarios pueda interactuar con ella (desplazamientos o giros).

Existen procesos conocidos como es uno de ellos el diezmado, reduce la imagen e implica la perdida de resolución incluso la desaparición de pixeles. Otro proceso es la Interpolación, es todo lo contrario, simula a un zoom digital, permite observar los objetos con más detalle.

2.3.4.1.3. Filtrados frecuenciales:

(Carrión, Ródenas & Rieta, 2006) nos dicen que “Tratan la imagen a partir de sus componentes frecuenciales” [p. 17], Generalmente se encuentra Componente de Baja frecuencia, que se refiere a una imagen en la que el brillo o el color son uniformes, por lo tanto ofrecen variaciones suaves. Y Componente de Alta frecuencia, que se refiere a los contornos de los objetos incluidos en la imagen, con cambios bruscos de

intensidad. Encontramos los tipos de filtros más habituales como el suavizado de los contornos, el realce de contornos, etc.

2.3.4.1.4. 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 en la parte central de la imagen, correspondiente a una área de baja frecuencia, y nos quedamos con los contornos de la imagen, representándolos con máxima intensidad.

2.3.4.1.5. 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], Se trata de separar un objetos del fondo de la imagen binarizando. Los valores por debajo de los pixeles de entrada se convertirán en negros, los que están por encima se convertirán en blancos.

2.3.4.2. Procesamientos avanzados:

2.3.4.2.1. 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 hace una proyección se debe calibrar tomando como patrón un objeto y la distancia en la que se encuentre. 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.

2.3.4.2.2. 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, reconocer objetos a través de su forma o color.

Para utilizar un método de segmentación se debe tomar en cuenta lo que queremos visualizar, el tipo de imagen, y otros factores.



Se describen técnicas de procesamiento básico y avanzado, las cuales nos permiten obtener información del área de interés que luego será analizada y llegar a centralizarla para su posterior visualización. También, por medio de estas técnicas podemos obtener una imagen con mejor percepción, como son las imágenes tridimensionales.

2.3.5. Imágenes Tridimensionales (3D):

2.3.5.1. Concepto:

Según (Cunningham, Leveno, Bloom, Hauth, Rouse & Spong, 2011) “El objetivo de las imágenes tridimensionales es mejorar la visualización de una imagen, trabajando con su volumen para mejorar los hallazgos bidimensionales en tiempo real”, [p. 361]. Es un objeto que cuenta para su presentación con tres dimensiones, es decir que se localiza sus puntos especificando 3 números dentro de un rango, como son anchura, longitud y profundidad.

2.3.5.2. Reconstrucción de Imágenes 3D:

Según (Latorre & López-Barneo, 1996) “La reconstrucción tridimensional nos 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 áreas de un cuerpo u objeto. Estas imágenes se almacenan en un



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

2.3.5.3. Técnicas de Reconstrucción de Imágenes 3D:

2.3.5.3.1. 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. (Cameron, 2006) afirma que “Se describe como la deformación geométrica del volumen de datos”. Se utiliza múltiples imágenes de cortes transversales. Permite generar otros planos anatómicos del cuerpo humano.

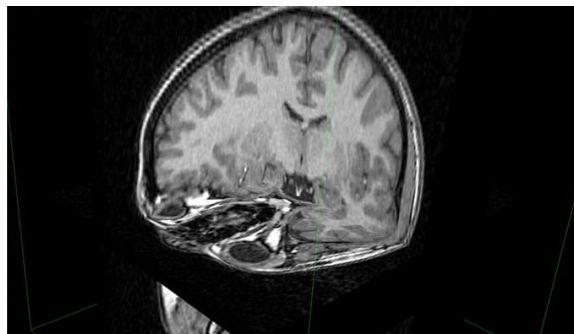


Figura 4 (Wikilibros, 2007). MPR Ortogonal 3D

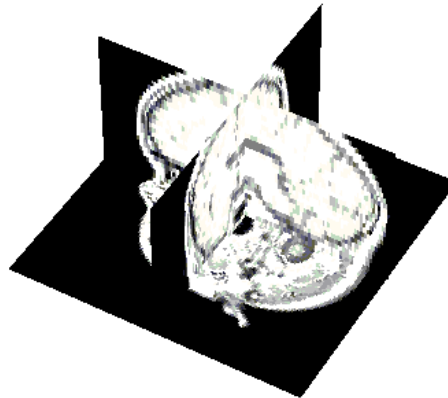


Figura 5 (Álvarez, Herrera & Olgúin, 2010). Reconstrucción Multiplanar

2.3.5.3.2. 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 buena localización y el ángulo de visión adecuado 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.



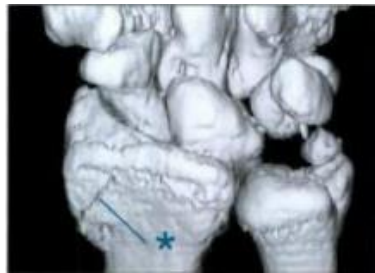


Figura 6 (Hofer, 2015) Fractura del radio distal (*) en la superficie ósea
SSD 3D

2.3.5.3.3. 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.

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

La proyección de máxima intensidad permite darle mayor atenuación a las estructuras, a lo largo de una cierta cantidad de cortes, lo cual facilita la visualización de estructuras densas (vasos contrastados, hueso).

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



2.3.5.3.4. Representación Volumétrica Digital (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 tiene cierto número de cortes transversales (horizontales o axiales), cada corte es una representación o imagen que está compuesta por un número de pixeles que presentarán coordenadas tridimensionales. Estas imágenes se apilan uno con otra con una posición (x, y) .

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.

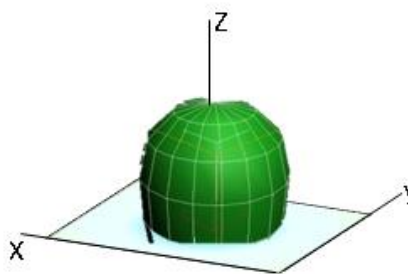


Figura 7 Reconstrucción 3D, representado en los ejes (x, y, z)



a) Obtención y lectura de las imágenes:

Se tiene una cierta cantidad de representaciones o cortes de tipo axial, con los cuales se tiene que hacer un apilamiento paralelo de cada corte original con respecto al eje z, estas son representadas en una matriz Voxel. Cada voxel es un conjunto de pixeles usados en la reconstrucción de la imagen.

Según (Gavidia, Landrove & Cerrolaza, 2010) “Para mantener la relación del tamaño del volumen reconstruido con el tamaño real del tejido, se tiene en cuenta el espaciado de cada voxel (voxel spacing) que conforma el volumen, el cual es obtenido de la información incluida en la imagen médica”. [p. 59].

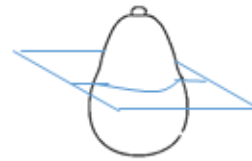


Figura 8 Corte Transversal o Axial

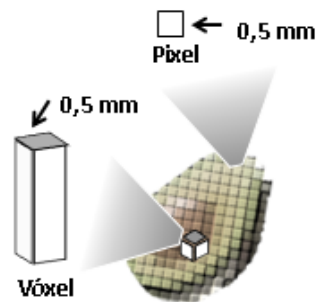


Figura 9 Pixel y Voxel en cada imagen



El computador después de analizar toda la información, otorga un valor numérico a cada pixel (que se corresponde con el coeficiente de atenuación), este número del pixel se relacionar con un color en una escala de grises que tenemos, se hará lo mismo con todos los pixel y del mismo modo podremos representar cualquier imagen.

b) Procesamiento

Este procesamiento se lleva a cabo, procesando los valores de niveles de gris que contiene la matriz de la imagen.

Según (Gavidia, Landrove & Cerrolaza, 2010). En algunos casos es necesario ajustar los niveles de gris originales de la imagen, al rango de intensidades que estableció Hounsfield.

En la cabecera de las imágenes de TC existen dos campos: Rescale Slope y Rescale Intercept, que tienen valores típicos de 1 y -10324, respectivamente. El valor de estos campos nos permitirá determinar si los niveles de gris cumplen la escala de Hounsfield o necesitan ser ajustados. Para esta conversión, es necesaria una transformación



lineal de los valores de los pixels empleando la siguiente ecuación:

$$HU = \text{valorPixel} \times \text{RescaleSlope} + \text{RescaleIntercept}$$

Y estos nuevos valores se apreciarán en un histograma.

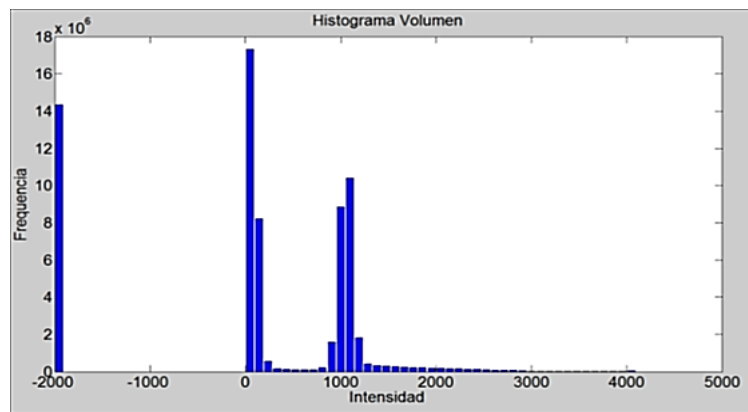


Figura 10 (Gavidia, Landrove & Cerrolaza). Histograma con los niveles de gris de una imagen

(Gavidia, Landrove & Cerrolaza, 2010) nos dicen que “Se implementan algoritmos de filtrado de ruido y resaltado de bordes, que permite la calibración de parámetros de entrada”, [p. 60]. En esta etapa es donde se aprecian las imágenes no bien definidas que presentan ruidos y demás componentes que no son de interés para la reconstrucción.



c) Segmentación

Según (Gonzales, 2011) “La técnica de segmentación se define como el proceso de selección de datos que serán incluidos o excluidos de una imagen volumétrica 3D”, [p. 178]

En algunos casos, la segmentación se utiliza para separar diferentes estructuras que posean similar densidad mediante un procedimiento que puede ser manual o automático, obteniendo así la región anatómica de interés a evaluar.

Según (Gavidia, Landrove & Cerrolaza, 2010). No existen métodos de segmentación generales que se pueda aplicar a cualquier variedad de datos. Para tener resultados aceptables de para todo tipo de imágenes médicas, se combinaron más de una técnica dependiendo del tejido bajo en evaluación.



Figura 11 Segmentación, si se quiere obtener una región de interés de la fruta



d) Proceso de interpolación

Según (Gonzales, 2011) Después de haber obtenido los contornos de la etapas anteriores, estos deben ser alineados en pila y en caso no cuente con la resolución necesaria, se requiere aplicar un algoritmo de interpolación entre datos y así obtener una verdadera representación implícita del objeto en el volumen real. Para hacer posible su visualización 3D, se hace un recubrimiento triangular para lo que se utilizan mallas, cuyos vértices son puntos conocidos, de forma que se cubra completamente el objeto de interés.

e) Generación de la malla

Según (Gonzales, 2011). Esta es la etapa del modelado geométrico, que nos permite una representación compacta de la estructura y así obtener la visualización tridimensional mediante algoritmos convencionales.

La superficie que se obtuvo anteriormente es transformada a una malla de superficie, tamaño y calidad.

El método más utilizado para la generación de la malla es el algoritmo de Watson. Este algoritmo nos



permite obtener la “Triangulación Delaunay” de un conjunto de puntos conectados a sus puntos vecinos más próximos.

Para los vóxeles es igual, pero se sabe que algunas veces se obtiene elementos de muy mala calidad, debido a la superficie obtenida anteriormente.

“Para eliminar las irregularidades existentes en el área obtenida (causadas fundamentalmente por la poca precisión de la tomografía), se somete a la malla a un proceso de suavizado que conduce a una malla final”, [p. 184]. Gracias a ello se obtuvo una malla de volumen y posteriormente la imagen tridimensional.

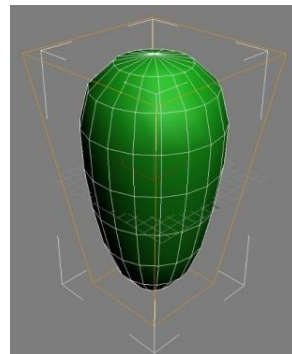


Figura 12 Reconstrucción 3D

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.
- d. Coeficiente de Atenuación:** La formación de los contrastes en la imagen de Tomografía Computarizada (TC) viene determinada por los gradientes de absorción o atenuación de un objeto. Por tanto, el valor que se obtiene en cada pixel se le denomina coeficiente de atenuación. 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. Procesamiento de imágenes:** Tiene como objetivo mejorar la calidad de las imágenes y facilitar la búsqueda de información haciendo más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar.
- g. Compresión de imágenes:** El objetivo es reducir los datos irrelevantes de la imagen con la menor pérdida posible. para permitir su almacenamiento o transmisión de forma eficiente.



- h. Sistema digital:** Es un conjunto de dispositivos diseñados para la generación, ingreso, transmisión, manejo, procesamiento, almacenamiento y despliegue de señales digitales.
- i. Sistema binario:** En ciencias e informática, es un sistema de numeración en el que los números son representados utilizando las cifras cero y uno (0 y 1).
- j. 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. Se propagan transportando energía de un lugar a otro.
- k. Modelado tridimensional:** Es una representación de arte gráfico, es el proceso de desarrollar una representación matemática de cualquier objeto en tres dimensiones, envuelve por completo la superficie tridimensional.
- l. Región de interés:** Es el área o zona que será estudiada para su posterior análisis clínico o para una posible reconstrucción digital.
- m. Algoritmos:** Es un conjunto de instrucciones o reglas bien definidas que representan un modelo de solución para un determinado problema.

- n. 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.
- o. Radiolucido:** Este término se emplea para los tejidos blandos que se visualizan en los rayos X y que por tanto permiten el paso de la luz. Es todo aquel cuerpo que se deja atravesar por la energía radiante.
- p. Sistemas PACS:** Es un sistema computarizado para el archivado digital de imágenes médicas.
- q. DIMSE:** Acrónimo del elemento de servicio de mensajes DICOM. Se trata de un conjunto de servicios DICOM realizadas entre entidades de aplicación.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

Para el estudio de la investigación titulada “*Reconstrucción 3D a partir de imágenes tomográficas de frutas con pepa, utilizando la técnica de representación volumétrica digital*” se realizará una investigación descriptiva y analítica que parten de la investigación cuantitativa. Aplicada, porque será aplicada inmediatamente como apoyo al sector agroindustrial, así podrán resolver el problema de tener una mejor referencia al calcular el nivel de conservación que necesita la fruta.

Debido a que el objetivo de esta tesis es “La Reconstrucción 3D a partir de imágenes tomográficas” y así obtener como resultado una imagen tridimensional que ayude a la mejor percepción interna de una fruta y pueda apoyar en el cálculo del nivel de refrigeración que necesita.

3.1.2. Diseño de investigación:

El enfoque de esta investigación es cuantitativa, y que 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 representación volumétrica digital, 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 300 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 tomaran 100 representaciones tomográficas de la fruta, pues se podría considerar un tejido blando pero, al tener más imágenes la reconstrucción será mejor.



3.3. Hipótesis

Con la Técnica de representación volumétrica digital se resolverá el problema de reconstruir una imagen 3D a partir de imágenes tomográficas de frutas con pepa, obteniendo una imagen más confiable, cercana o real.

3.4. Variables

3.4.1. Variables Dependientes

Reconstrucción 3D a partir de imágenes tomográficas de frutas con pepa.

3.4.2. Variables Independientes

Técnica de Representación Volumétrica Digital

3.5. Operacionalización

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Técnica de Representación Volumétrica Digital	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 a partir de imágenes tomográficas de frutas con pepa	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

3.6. Abordaje metodológico, 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.

3.7. 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 las 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.

3.8. Análisis estadísticos e Interpretación de datos

a) Tiempo de Respuesta:

Consiste en el tiempo de respuesta que tiene el procesamiento de las imágenes que serán utilizadas en la reconstrucción 3D.

$$T_{Respuesta} = H_{Primera Respuesta} - H_{Proceso Cargado}$$

b) Cantidad de Procesos

Consiste la cantidad de tareas de procesamiento que tendrá la técnica para obtener la imagen 3D final.

$$\sum_{i=0}^n a_i$$

n : Número de Proceso.

$i = 0$: Cantidad de Sub tareas.

a_i : Cantidad de Procesos.



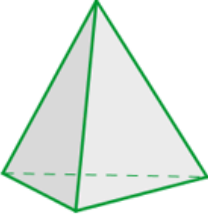
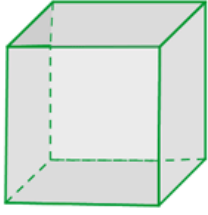
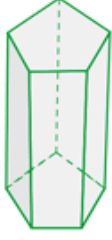
c) Tiempo de Reconstrucción

Consiste en calcular el tiempo en que durara generar la imagen en 3D.

$$T_{Reconstruccion} = H_{Imagen\ Final} - H_{Fin\ de\ Procesamiento}$$

d) Fidelidad de la Reconstrucción

Consiste en calcular que tan cerca, fiel o parecida es la imagen reconstruida a la forma real de la fruta. Para ello nos basaremos en el volumen de solidos geométricos que se asemejen a la imagen real y la reconstrucción 3D.

Figura	Nombre	Formula de Volumen
	TETRAEDRO	$V = \frac{\sqrt{2}}{12} a^3$
	CUBO	$V = a^3$
	PRISMA	$V = A_B \cdot h$



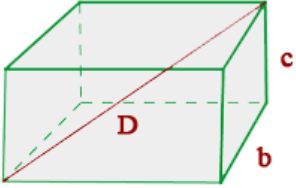
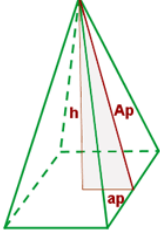
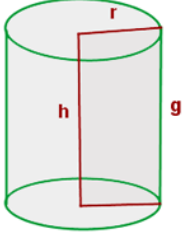
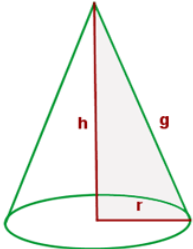
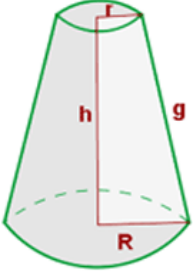
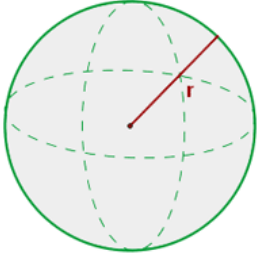
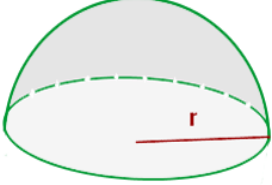
	<p>ORTOEDRO</p>	$V = a \cdot b \cdot c$
	<p>PIRAMIDE</p>	$V = \frac{A_B \cdot h}{3}$
	<p>CILINDRO</p>	$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$
	<p>CONO</p>	$V = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h}{3}$
	<p>TRONCO DE CONO</p>	$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h (R^2 + r^2 + R \cdot r)$
	<p>ESFERA</p>	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$
	<p>SEMIESFERA</p>	$V = \frac{2}{3} \pi \cdot r^3$

Tabla 3 Formulas de Volumen de Solidos Geométricos



$$\%Acierto = \frac{|Valor Aproximado|}{|Valor Exacto|} \times 100$$

$$\%Error = \frac{|Valor Exacto - Valor Aproximado|}{|Valor Exacto|} \times 100$$

3.9. Principios 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 efectuó 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.

3.10. 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 utilizada 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.



CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados en tablas y gráficos

4.1.1. Pre procesamiento de Imágenes:

Para el Pre procesamiento de las imágenes se han ejecutado 6 tareas de las cuales detallaremos el tiempo que duro cada una de ellas, es decir por cada algoritmo o función ejecutada en el código y también el tiempo total que duro el Pre procesamiento:

N°	TAREA	TIEMPO (Seg.)
1	Realzado de Bordes (función 'canny')	1.8"
2	Segmentación	1.5"
3	Umbralización	1.1"
4	Limpieza de Imperfecciones (función 'ones')	2.0"
5	Identificar Manchas (función 'regionprops')	2.8"
6	Selección de Manchas (función 'find')	1.5"
Tiempo Total Procesamiento de Imágenes		10.7"

Tabla 4 Resultados del Tiempo de Respuesta del Pre procesamiento de Imágenes

Estos resultados son calculados tomando la hora de la primera respuesta de cada tarea restándole la hora en que se puso en marcha la tarea. En la siguiente grafica veremos los diferentes resultados obtenidos.



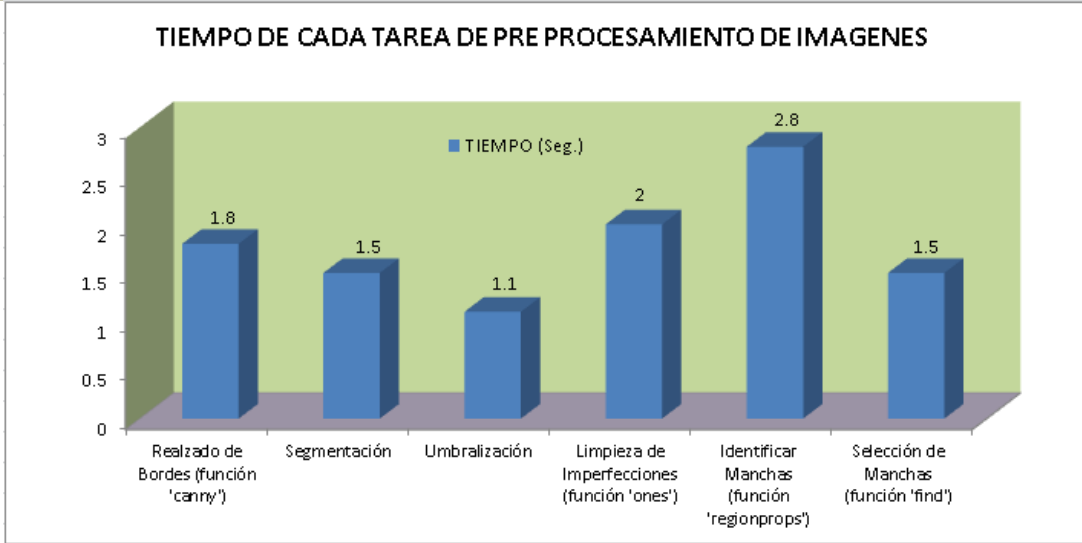


Gráfico 1 Tiempo de Respuesta de cada tarea de Pre procesamiento de Imágenes

4.1.2. Reconstrucción Tridimensional (3D):

Se logró la reconstrucción 3D final en un tiempo muy bueno y con una forma muy parecida a la real, se podría decir que el resultado es aceptable.

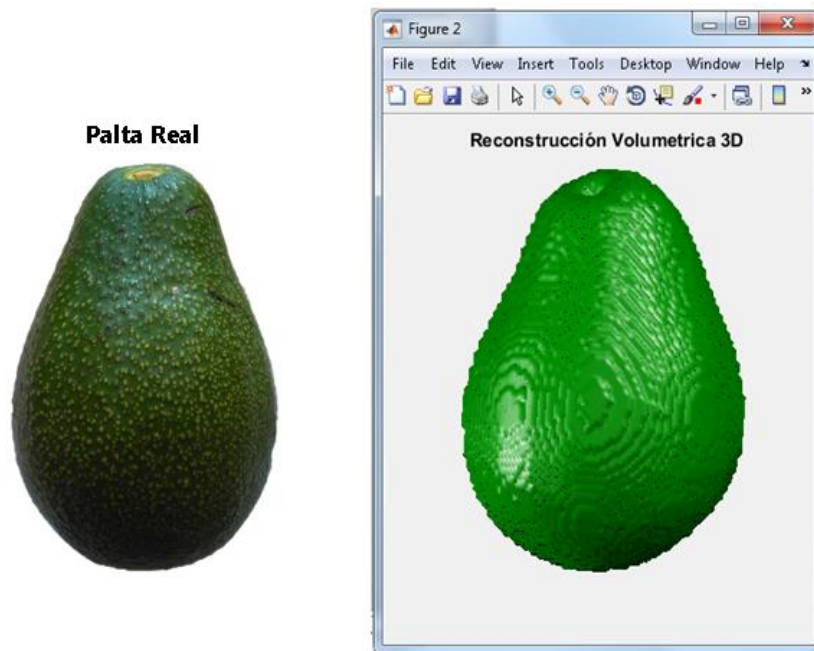


Figura 13 Palta Real y Reconstrucción Volumétrica 3D



El tiempo que duro la reconstrucción fue de 2 segundos, se calculó tomando la hora en que finalizó el pre procesamiento de las imágenes y restando a la hora en que finalizó de reconstruir la imagen.

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 solidos geométricos que se encontraron en la imagen.

Imagen (Solidos 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 5 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
$Radio_{SemiesfA}$	1.8 cm	1.7 cm
$Radio_{SemiesfB}$	2.7 cm	2.5 cm
$Radio_{Esfera}$	3.2 cm	3 cm
$Altura_{Tcono}$	2.8 cm	2.6 cm

Tabla 6 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
VOLUMEN (m^3)	153.38 m^3	127.12 m^3

% Acierto	83%
% Error	17%

4.2. Discusión de resultados

- a) Para el procesamiento de las imágenes solo fueron ejecutados las tareas y las funciones o algoritmos necesarios que permita tener los mejores resultados, además de tener las respuestas en un tiempo muy corto, pues demoramos poco más de 10 segundos para finalizar con el pre procesamiento adecuado de las imágenes tomográficas.

- b) La reconstrucción tridimensional (3D), se obtuvo de finalizar correctamente el procesamiento de las imágenes tomográficas. Mostramos una imagen para visualizar el volumen que va a tomar e inmediatamente en 2 segundos reconstruye la imagen en 3D obteniendo un resultado aceptable, cercano a la imagen real, teniendo un 83% de acierto y solo un 17% de error.



CAPITULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Introducción

Como indicamos en nuestra situación problemática, existe una gran deficiencia en lograr el cálculo adecuado del nivel de refrigeración que necesita una fruta, existen métodos matemáticos basados en la forma geométrica de la fruta.

Los métodos de predicción de tiempos de refrigeración de frutas, se aplican basándose en geometrías con algún tipo de regularidad: rectangulares, cilindros finitos, esferoides.

Se necesita una representación o imagen que sea lo más parecida o igual a la imagen real de una fruta con pepa, para poder tener mejores cálculos del tiempo de enfriamiento que necesita.

Por ello en el presente proyecto de investigación, se propone hacer una reconstrucción tridimensional (3D) a partir de imágenes tomográficas (TAC) de una palta, utilizando la técnica de representación volumétrica digital (VR), su desarrollo se realizará en MATLAB®.

5.2. Desarrollo

Para ello se siguió el siguiente esquema de procesos utilizando la técnica de Representación Volumétrica Digital e Implementado en una herramienta desarrollada en Matlab.



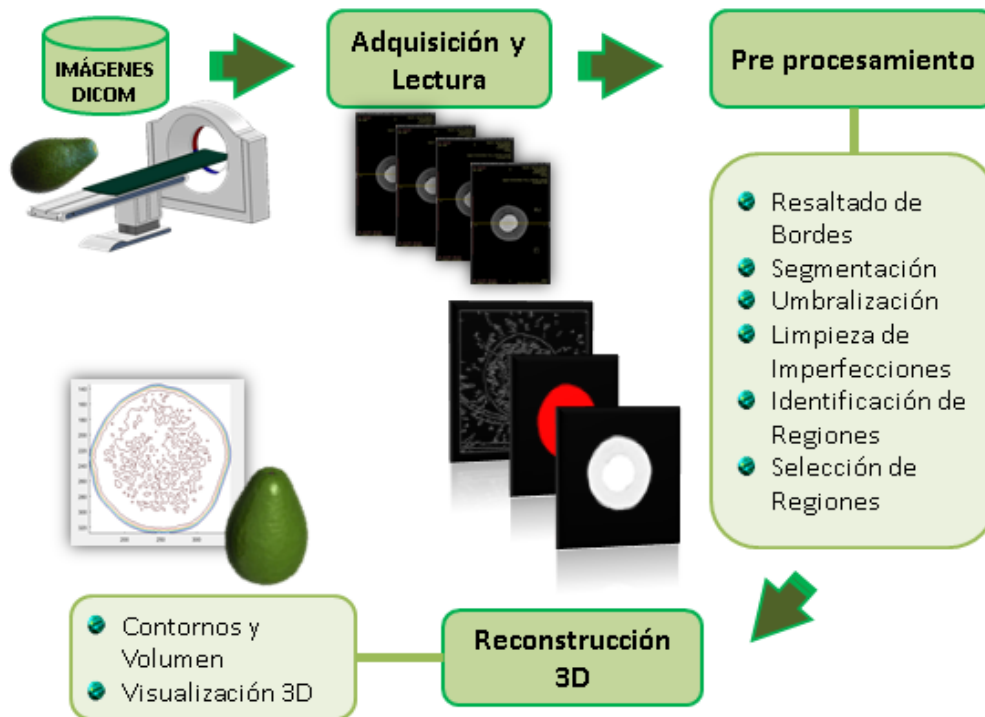


Figura 14 Esquema de procesos de la técnica de Representación Volumétrica Digital

5.2.1. Obtención de las Imágenes

Según Gavidia, Landrove & Cerrolaza (2010), las tomografías son múltiples imágenes que tienen la ventaja de brindar una visualización detallada de tejidos blandos y estructuras densas (huesos). A diferencia de los rayos X convencionales que solo obtienes imágenes de estructuras densas.

Por ello para esta investigación se utilizó imágenes tomográficas de frutas con pepa, en este caso se tomó como ejemplar, una Palta Fuerte. Estas imágenes tomográficas se adquieren en formato DICOM, que pueden ser visualizadas mediante la aplicación RadiAnt DICOM Viewer, que también lo usaremos para exportarlo con extensión (.dcm).





Figura 15 Ejemplar: Palta Fuerte (tomas Frontal y Trasera)

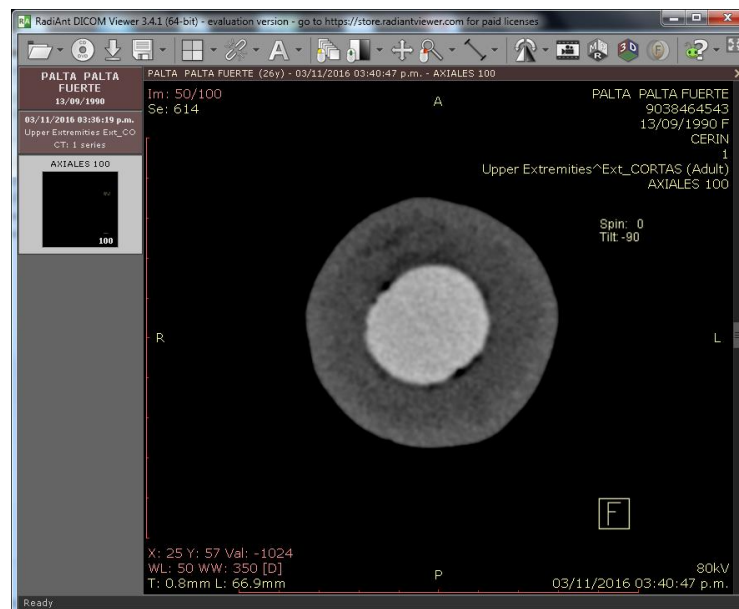


Figura 16 Visualización de la Tomografías usando el software RadiAnt DICOM Viewer

Se hicieron pruebas utilizando 80 imágenes del corte tipo axial con un grosor de 0,8 mm (milímetros) y una distancia de 1,4 mm entre cada corte, pero no se obtuvo el resultado esperado, pues se observó una reconstrucción incompleta.



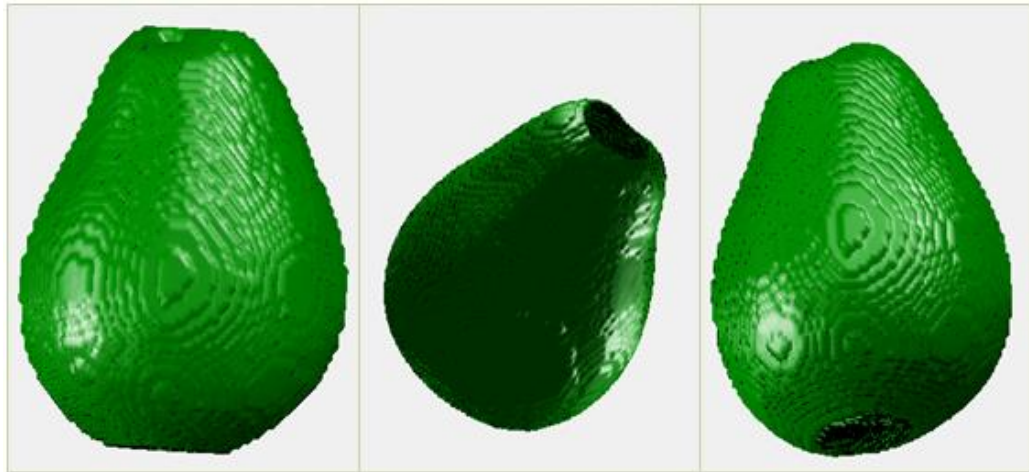


Figura 17 Reconstrucción 3D, utilizando la técnica de Representación Volumétrica Digital con 80 Cortes Tomográficos

Por ello, se utilizaron 100 imágenes del corte tipo axial con un grosor de 0,8 mm (milímetros) y una distancia de 1,2 mm, para lograr un mejor resultado.

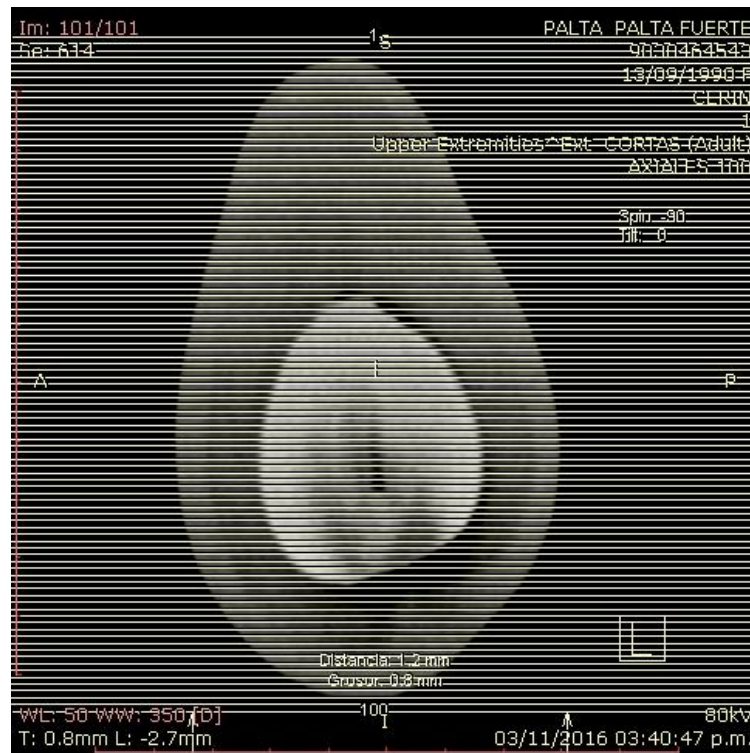


Figura 18 Obtención de 100 Cortes Axiales



Empezaremos cargando las imágenes tomográficas, las cuales deben estar con extensión (.dcm) que corresponde a una imagen DICOM, y mostramos un montaje con las imágenes cargadas. Luego elegiremos una muestra para proceder al procesamiento.

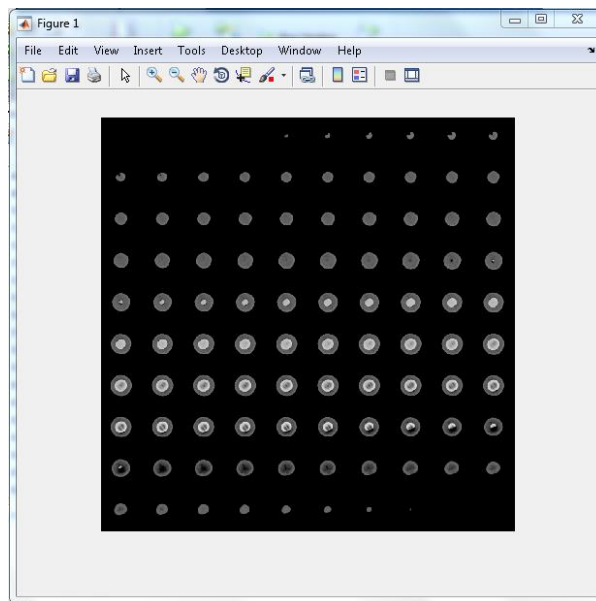


Figura 19 Montaje de las Imágenes Tomográficas

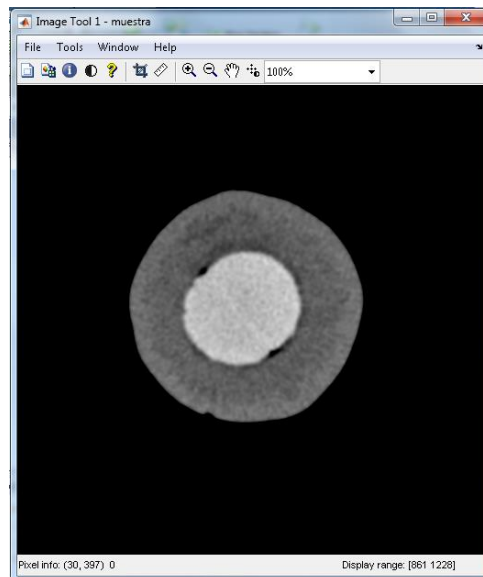


Figura 20 Muestra de una Imagen Tomográfica de la Palta - Corte Axial

5.2.2. Pre procesamiento de las Imágenes

Dichas imágenes tomográficas pasaran por una etapa de pre procesamiento en el cual usaremos algoritmos de segmentación basada en umbrales, los cuales varía dependiendo de la necesidad específica de visualización, tipo de la imagen y otros factores. Tenemos los siguientes algoritmos:

Algoritmos	Característica
Filtrado Average	Opera mediante el promedio de un número de puntos de la señal de entrada para producir cada punto de la señal de salida.
Filtrado Gaussiano	Tiene el problema del difuminado de los bordes, reduce el ruido tipo gaussiano.
Filtrado Prewitt	Resalta los cambios en la intensidad sin importar que sean cambios leves.
Filtrado Sobel	Reduce la influencia de ruido en la detección de discontinuidad.
Filtrado Laplacian	Acentúa las zonas que tiene gran discontinuidad en la imagen.
Contornos Sobel	Se centran en las diferencias de intensidad que se dan pixel a pixel.
Contornos Prewitt	
Contornos Roberts	
Contornos LoG	Permite trabajar con niveles distintos de resolución, permitiendo identificar los bordes deseados con mayor facilidad.
Contornos Canny	Es considerado óptimo por su buena detección, buena localización y respuesta mínima.
Umbralización	Basado en el histograma de la imagen, todos los niveles de grises menores al umbral calculado se convertirán en negro y todos los mayores en blanco.
ones	Genera un matriz con todos los valores iguales a uno. Para reducir las imperfecciones.
Regionprops	Contiene propiedades de las distintas regiones de la imagen binaria.
find	Identifica valores en un arreglo o bloque que cumplan determinadas funciones.

Tabla 7 Algoritmos de Pre Procesamiento



El filtro es aplicado a reducir ruido y resaltar áreas poco visibles, pero se deben tener en cuenta algunas consideraciones. Cuando la imagen es de menor grosor aumenta el ruido. El ruido afecta las estructuras de bajo contraste en la imagen, por lo tanto a mayor grosor menos se visualizaran las granularidades.

En este pre procesamiento no haremos uso de ningún filtro, ya que usaremos algoritmos que nos ayudara a segmentar correctamente la imagen y no será necesario centrarnos en reducir el ruido.

Según Shoelson B. (2011), “El procesamiento de imágenes médicas requiere un entorno amplio para el acceso a los datos, el análisis y el procesamiento”, por ello, para la correcta segmentación de las imágenes tomográficas usó algoritmos como ‘ones’, ‘regionprops’, ‘find’, que nos ayudaran con la limpieza de imperfecciones e identificación de la región donde está ubicado el fruto con ello quedaron las imágenes listas para su posterior reconstrucción tridimensional. La implementación de estos algoritmos será detallados a continuación:

Como ya tenemos la muestra (corte seleccionado), los cambios que se haga en ella serán también hechos en las demás imágenes.

Empezaremos usando el comando ‘canny’, que activa el algoritmo de canny que ya tiene implementado Matlab, con eso resaltaremos los bordes de la imagen y podremos ver detalles e imperfecciones que debemos modificar en la imagen.



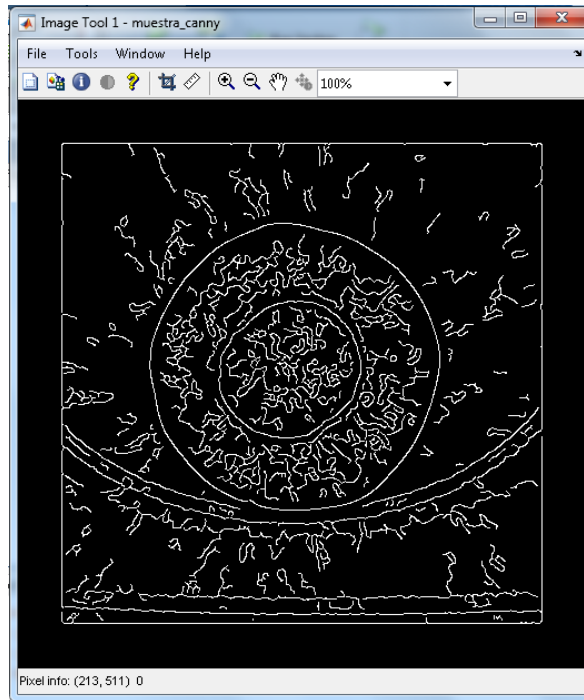


Figura 21 Imagen con el Algoritmo de Canny

Ahora segmentaremos la imagen para centrarnos más en la palta, mostraremos una imagen con canny y la misma con máxima intensidad, ambas segmentadas, y la convertiremos a binario (blanco y negro), luego eliminaremos pequeñas manchas que salgan en la tomografía.

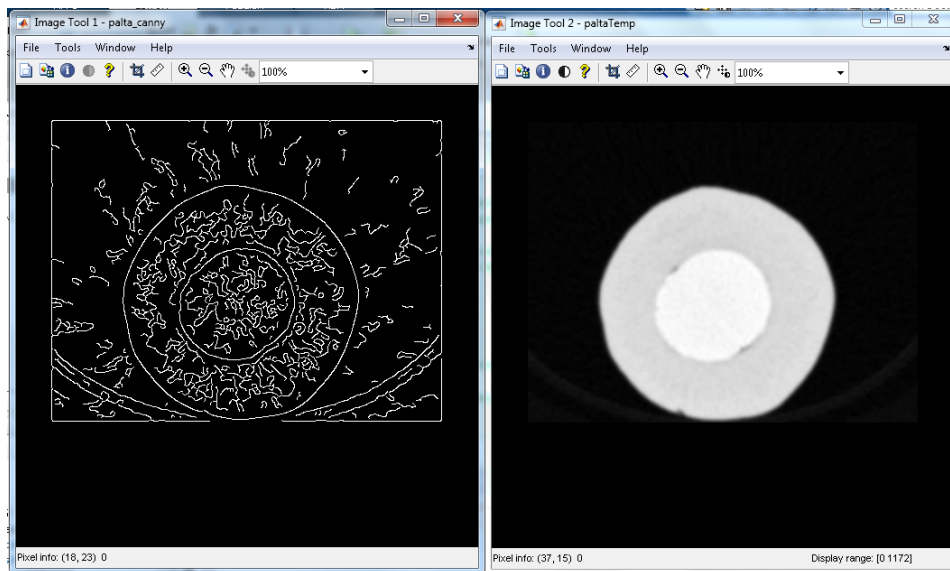


Figura 22 Imagen con Canny - Imagen con Máxima Intensidad, ambas segmentadas



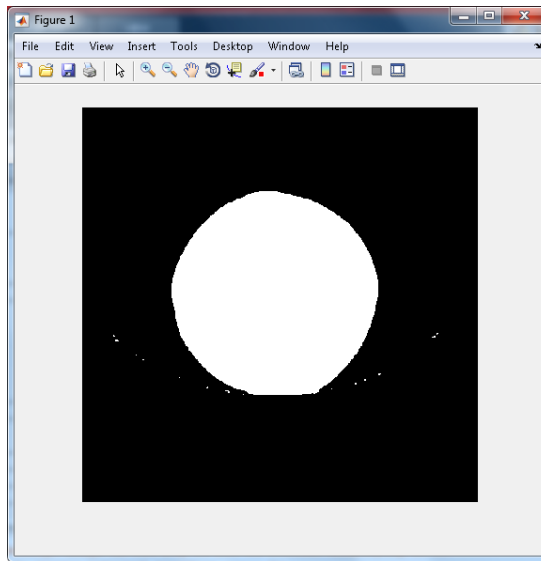


Figura 23 Imagen Binaria (Blanco y Negro)

Limpiamos imperfecciones en la imagen y utilizamos el comando 'regionprops', que permite obtener parámetros como el centroide, el perímetro y el área de una imagen previamente binarizada, básicamente el algoritmo de la función regionprops busca regiones en la imagen que estén conectadas entre sí, le da diferentes colores de acuerdo al tamaño de las manchas identificadas. Sabemos que la parte de la palta será identificada como la mancha más grande y le damos color rojo.

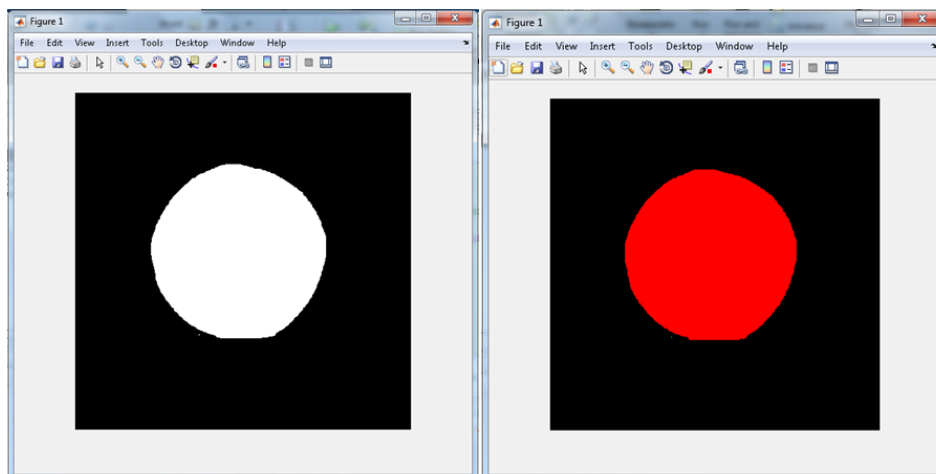


Figura 24 Limpiamos Imperfecciones - Identificamos Manchas



La función 'find' busca valores en un arreglo que cumplan determinadas funciones, por eso mediante esta función seleccionamos la mancha mas grande, el cual es el bloque donde se encuentra la palta, esta resaltada de color rojo.

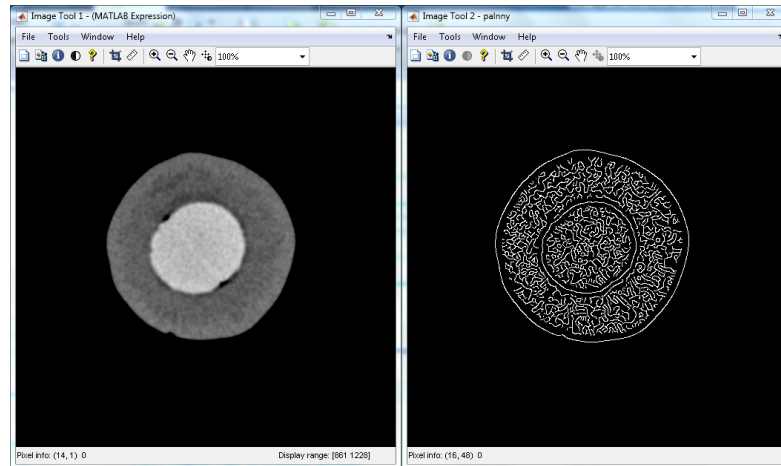


Figura 25 Selección de región (Representación normal y Realzado de Contornos)

5.2.3. Reconstrucción Tridimensional (3D):

Ahora ya tenemos las imágenes segmentadas correctamente, se adquieren los datos de las imágenes y son manipulados en una matriz de volumen de elementos llamada voxels. Reconstruiremos la imagen analizando cada voxel y proyectando el resultado en una superficie bidimensional (pantalla del ordenador).

Según J. Álvarez, J. Herrera and M. Olgún (2010), nos muestra la comparación de las diferentes técnicas existentes para la reconstrucción de la imagen 3D.



Técnica o Algoritmo	Característica	Color	Iluminación	Interacción
Reconstrucción Multiplanar	Crea una imagen bidimensional con un punto de vista tridimensional arbitrario	NO	NO	SI
Proyección de Máxima Intensidad	Falta de sensación de profundidad	NO	NO	SI
Reconstrucción de Superficie Sombreada	Poco realismo, es inútil para visualizar tejidos blandos	NO	SI	SI
Representación Volumétrica	Nos permite diferencias estructuras	SI	SI	SI

Tabla 8 Cuadro Comparativo de Técnicas de Reconstrucción 3D

La técnica que utilizaremos es la Representación Volumétrica, ya que muestra en sus antecedentes mejores resultados.

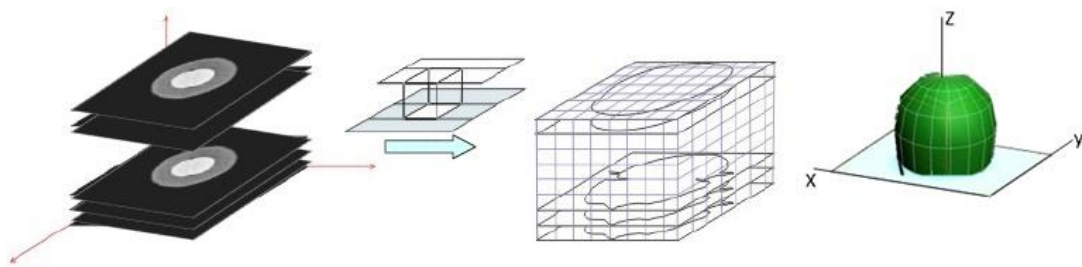


Figura 26 Proceso de la Técnica Representación Volumétrica Digital

En la siguiente imagen muestra la silueta y el volumen de la imagen, podemos apreciar cómo todo el volumen de la pulpa de la palta oculta la pepa, por eso no se nota la silueta de la pepa de la palta.



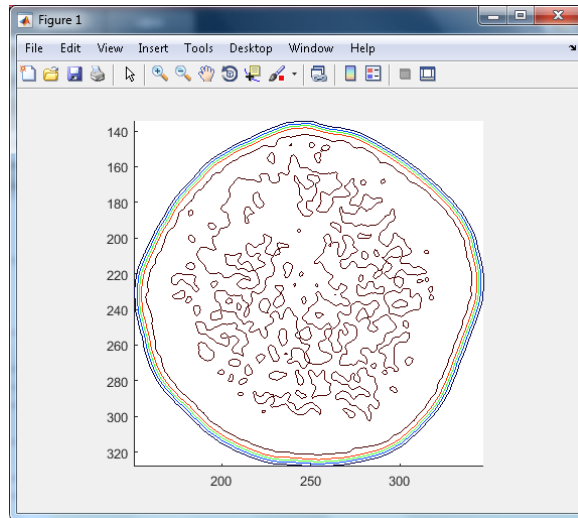


Figura 27 Visualiza el Contorno y Volumen de la Imagen

Finalmente se obtiene la imagen tridimensional a partir de la matriz voxel que se generó con las imágenes 100 imágenes tomográficas que se tuvieron de muestra con una distancia de 1.2 mm entre cada corte, donde el espaciado de cada voxel conforma el volumen de la imagen.

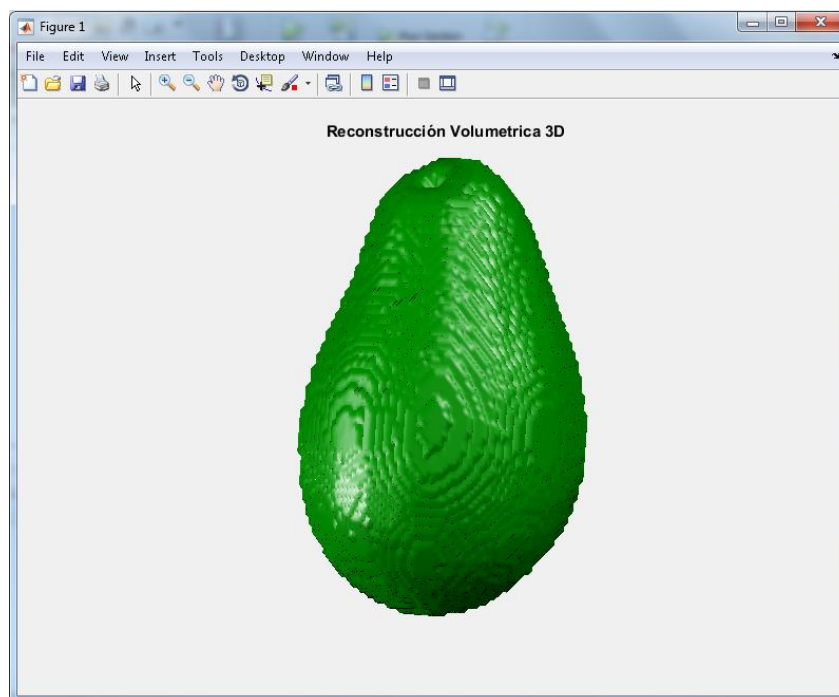


Figura 28 Reconstrucción Volumétrica 3D de la Palta



Se ha desarrollado una herramienta bajo la plataforma de MATLAB, con una interfaz gráfica de usuario que integra todo el proceso de reconstrucción 3D con la técnica de Representación Volumétrica Digital. Anexos C y D. *Figuras* [34] [35].

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- a) Analizando el objetivo de obtención de imágenes tomográficas. Las tomografías a diferencia de obtener una radiografía convencional, son múltiples imágenes detalladas que se obtiene al rotar alrededor de un cuerpo. Por ello para la fase de prueba se trabajó con 80 imágenes de una palta, pero no se logró tener una reconstrucción exitosa, pues no se llegó a una representación completa. Y ya al tener los 100 cortes de una palta se tuvo la representación 3D completa y utilizando la técnica de volumen que se propuso. En conclusión a más cortes puedes obtener una completa y mejor imagen tridimensional.

- b) Cuando se trabajó en el pre procesamiento de las imágenes, se seleccionaron los algoritmos necesarios para corregir imperfecciones y así extraer los parámetros a utilizar en su posterior reconstrucción 3D, y no fue necesario contar con algoritmos de filtrado. Estos algoritmos fueron integrados en una herramienta de software elaborada en Matlab, para su fácil interacción con el usuario.

- c) Se seleccionó la técnica de Representación volumétrica digital ya que es la más usada, debido a que ofrece una mejor visualización de lo que se requiera estudiar sobre todo de capas externas. Esta técnica implementada en la plataforma de Matlab, hace más rápido el proceso y la



imagen final se obtiene de muy buena calidad, cabe resaltar que la forma del algoritmo no es muy complicado.

- d) La técnica de Representación Volumétrica Digital, brindo muy buenos resultados, generando la reconstrucción en tan solo dos segundos y brindando una fidelidad aceptable con la imagen real, donde los valores estadísticos de los volúmenes comparados dieron un 83% de acierto y 17% de error.

6.2.Recomendaciones

- a) Para la adquisición adecuada de imágenes tomográficas se deben tener en cuenta que la cantidad, grosor y distancia de los cortes varía dependiendo del cuerpo en estudio, para ello se recomienda el uso del software RadiAnt DICOM Viewer que tiene la opción de simular un reconstrucción 3D, donde podremos observar el tipo de resultado que se obtiene con esa cantidad de cortes tomográficos. Es necesario obtener todos los cortes útiles para la reconstrucción 3D ya que, el costo de adquisición es solo por el uso del tomógrafo y no por la cantidad de cortes adquiridos.
- b) Se recomienda tener en cuenta el uso de algoritmos de filtrado de ruido de ser necesario, ya que no todas las imágenes son generadas con la misma cantidad de radiación y varia el grosor (mm) según las cantidad de cortes, por lo tanto algunas si adquieren ruido. Además, se recomienda migrar a otros lenguajes de programación utilizados para el procesamiento de



imágenes y visualización ya que, MATLAB es un software útil para desarrollar herramientas procesamiento de imágenes pero su desventaja es la sobrecarga de memoria disminuyendo su rendimiento al manejar grandes volúmenes de datos característicos de algunas imágenes médicas con gran resolución y tamaño.

- c) Se seleccionó la técnica de Representación Volumétrica Digital, pero se recomienda seguir la investigación con otro tipo de técnicas que también trabajan con tomografías como lo son la Reconstrucción Multiplanar, Reconstrucción de Máxima Intensidad y Reconstrucción de Superficie Sombreada.
- d) El aporte de este trabajo realizado se encuentra en mostrar en como con la técnica de Representación Volumétrica Digital se puede hacer una Reconstrucción 3D y su implementación en matlab. Se recomienda con esta técnica realizar software para visualización de diferentes tipos de imágenes diagnósticas.

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., Olgún, M. (2010). *Comparativo de técnicas de reconstrucción 3D para imágenes médicas*. México. SINCO.
- Bautista A. (2014). *Elaboración de un modelo tridimensional de las vías aéreas superiores y estructuras anexas a partir de imágenes tomográficas*. México.
- 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.
- Bueno, G. & Dorado, J. (2007). *Gestión, procesado y análisis de imágenes biomédicas*. Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha. Cuenca, España.
- Camacho, L. (2013). *Sistema de reconstrucción 3D multicámara*. México. Centro de investigaciones en óptica A. C.
- 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.
- Ferrer-Roca, O. (2001). *Telemedicina*. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.



- Gavidia, G. (2009). *Desarrollo de una herramienta de procesamiento de imágenes médicas en MATLAB y su integración en medical GiD*. INABIO, CIMNE. 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.
- Gómez-Sánchez, A. I., Cerón-Carrillo, T. G., Rodríguez-Martínez, V., & Vázquez Aguilar., M. M. (2007). *Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 1, 80-86.
- 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.
- Horna, L. (2010). *Reconstrucción 3D multi-ocular*. México D.F.
- 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.
- 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.
- López, C. (2014). *Análisis de cuerpos no rígidos usando algoritmos de difusión para la detección de simetría en modelos 3D*. Perú.
- Míguez, M. (2013). *Estudio comparativo cefalométrico de imágenes bidimensionales y volumétricas obtenidas con tomografía computarizada de haz cónico*. Madrid, España.
- Ordoñez, C., Del Valle, J., Sobrino, B. & Montoya, J. (2014). *Resonancia Magnética Funcional (RMF) hecha fácil*. SERAM. Madrid, España.
- Páramo, L. (2015). *Procesamiento de frutos y hortalizas, preservación y poscosecha*. Nicaragua. PIENSA-UNI.



- 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.
- Shoelson, B. [tutorial matlab].(2015, Junio 11). Medical image processing requires a comprehensive environment for data access, analysis, processing, [Archivo de Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=aSFk42SasBY>
- 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.
- Wei, W., Guorong, W., Hua, C. (2009), *La reconstrucción 3D de un fémur eje utilizando un modelo y dos imágenes 2D de rayos x*. China. IEEE.
- 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

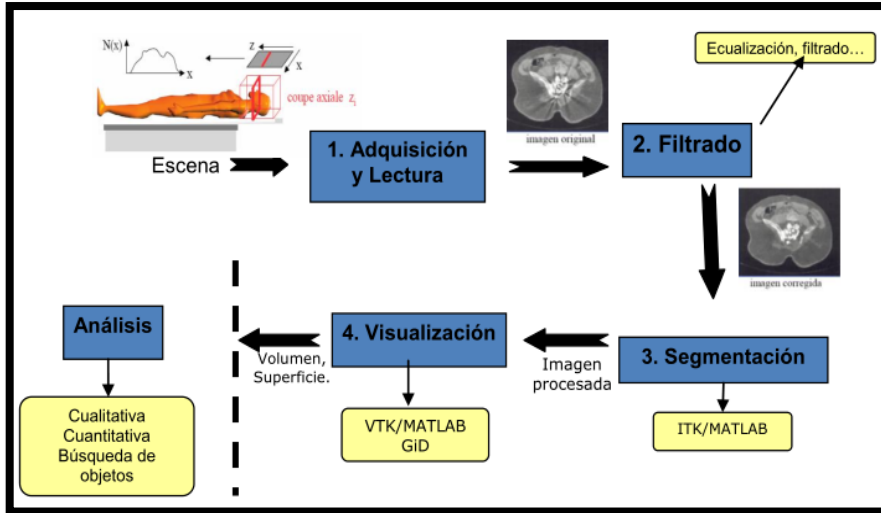


Figura 29 (Gavidia, 2009) Proceso de reconstrucción por volumen de órgano

ANEXO B

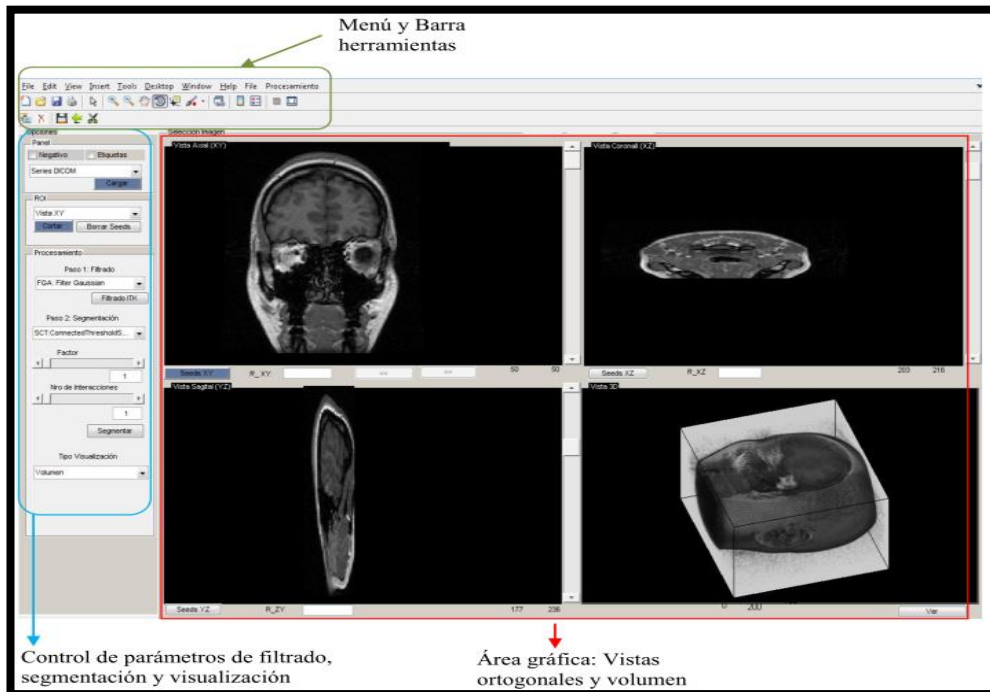


Figura 30 (Gavidia, 2009). Reconstrucción por volumen usando un software desarrollado en MATLAB



ANEXO C

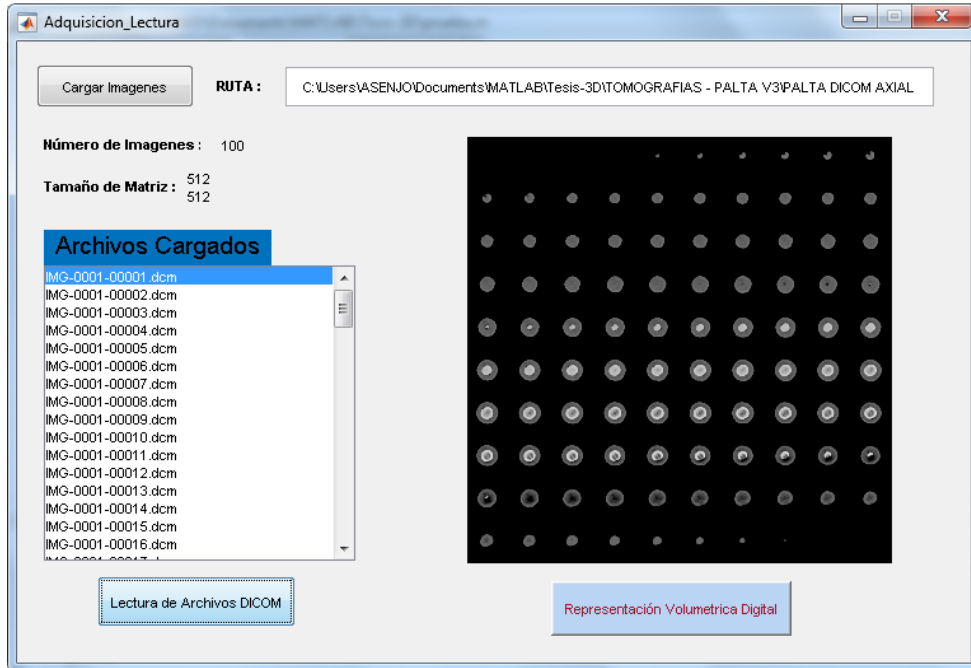


Figura 31 Interfaz Gráfica Adquisición y Lectura - Plataforma Matlab. Elaboración Propia

ANEXO D

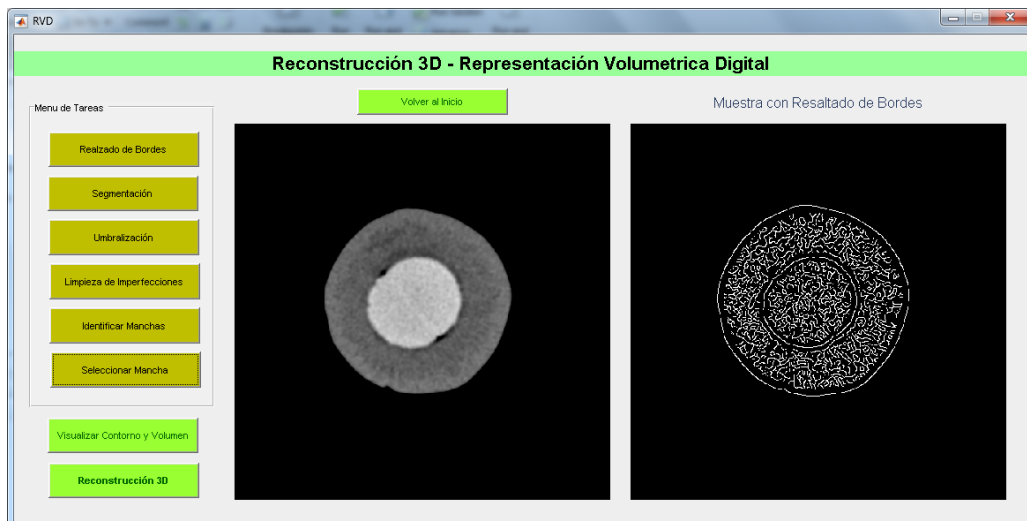


Figura 32 Interfaz Gráfica Pre procesamiento y Reconstrucción 3D - Plataforma Matlab. Elaboración Propia

