



ESCUELA DE DOCTORADO  
INTERNACIONAL DE LA USC

Domingo  
Caamaño Martínez

Tesis doctoral

Cálculo preoperatorio del  
volumen de injerto necesario en  
cirugía de elevación de seno  
maxilar

Santiago de Compostela, 2023

**Programa de doctorado en Ciencias Odontológicas**

TESIS DOCTORAL

# **CÁLCULO PREOPERATORIO DEL VOLUMEN DE INJERTO NECESARIO EN CIRUGÍA DE ELEVACIÓN DE SENOS MAXILARES**

Autor

Domingo Caamaño Martínez

Director: José María Suárez Quintanilla

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS**

SANTIAGO DE COMPOSTELA





## **DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES**

D. Domingo Caamaño Martínez declara no tener ningún conflicto de intereses en relación con la Tesis Doctoral titulada:

**Cálculo preoperatorio del volumen de injerto necesario en cirugía de elevación de seno maxilar**

En Santiago de Compostela, 30 de noviembre de 2023

Fdo. Domingo Caamaño Martínez





*“-El tiempo que perdiste por tu rosa hace que tu rosa sea tan importante.  
-El tiempo que perdí por mi rosa...-dijo el principito, a fin de acordarse.”*

*El principito*

*Antoine De Saint-Exupéry*



## **DEDICATORIA**

*A Natalia, esposa, compañera y amiga, ya que sin tu ayuda y tu paciencia esto no  
habría sido posible.*

*A mis hijos, Jorge y Noa, por creer que su papá es capaz de todo.*

*A mis padres, por enseñarme los verdaderos valores de la vida.*



## AGRADECIMIENTOS

Al Prof. José María Suárez Quintanilla por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo de investigación en la Unidad de Cirugía Oral de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela.

A la Dra. Natalia Padrón González por su constante ayuda y su capacidad para resolver los problemas que iban surgiendo.

A Dña. Isabel Martínez Silva, por su colaboración en la realización de la estadística.

A Dña. Beatriz Otero González, responsable de la Unidad de Radiología de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela, por su colaboración en la recogida de imágenes.

A D. Miguel Ángel Padrón González, por sus consejos para resolver las dudas informáticas.

A todos aquellos docentes y compañeros que me he ido encontrando a lo largo de todos estos años y de una forma u otra han contribuido a mejorar mi formación.

A mi familia y amigos, por estar siempre ahí.



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	17
<b>RESUMO</b> .....	19
<b>ABSTRACT</b> .....	21
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	23
<b>1.1 FORMACIÓN Y DESARROLLO</b> .....	23
<b>1.2 ANATOMÍA</b> .....	23
<b>1.2.1 Vascularización</b> .....	25
<b>1.2.2 Inervación</b> .....	27
<b>1.2.3 Función</b> .....	27
<b>1.2.4 Variaciones anatómicas y patología</b> .....	28
<b>1.3 DIAGNÓSTICO POR IMAGEN</b> .....	30
<b>1.3.1 Radiografías convencionales</b> .....	30
<b>1.3.2 Resonancia magnética</b> .....	31
<b>1.3.3 Endoscopia</b> .....	31
<b>1.3.4 Tomografía computarizada (TC)</b> .....	31
<b>1.3.5 Tomografía computarizada de haz cónico (CBCT)</b> .....	32
<b>1.4 CIRUGÍA DE ELEVACIÓN DE SENOS MAXILARES</b> .....	34
<b>1.4.1 Indicaciones y contraindicaciones</b> .....	34
1.4.1.1 Indicaciones.....	34
1.4.1.2 Contraindicaciones.....	34
1.4.1.3 Factores determinantes.....	34

<b>1.4.2 Técnicas</b> .....	35
1.4.2.1 Técnica traumática.....	35
1.4.2.2 Técnica atraumática.....	36
1.4.2.3 Técnica de desarrollo del sitio futuro.....	36
1.4.2.4 Técnica de osteótomos y endoscopia.....	36
1.4.2.5 Elevación de seno y cirugía piezoeléctrica.....	37
1.4.2.6 Técnica transcrestal sin osteótomos.....	37
1.4.2.7 Técnica del globo o balón antral.....	38
1.4.2.8 Técnica de elevación del suelo del seno sin injerto.....	38
<b>1.4.3 Alternativas terapéuticas</b> .....	39
1.4.3.1 Utilización de implantes cortos.....	39
1.4.3.2 Colocación de implantes a nivel de la tuberosidad.....	40
1.4.3.3 Implantes cigomáticos.....	40
1.4.3.4 Colocación de implantes en arbotantes anatómicos.....	41
1.4.3.5 Distracción alveolar histogénica.....	42
1.4.3.6 Injertos en bloque.....	43
1.4.3.7 Regeneración ósea guiada.....	43
<b>1.4.4 Material de injerto y tamaño de partícula</b> .....	44
1.4.4.1 Material de injerto.....	44
1.4.4.2 Tamaño de partícula.....	48
<b>1.4.5 Complicaciones</b> .....	49
1.4.5.1 Intraoperatorias.....	49

1.4.5.2. Postoperatorias o tardías.....	51
<b>2 JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS.....</b>	<b>54</b>
<b>2.1 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>54</b>
<b>2.1.1 Determinación del volumen total del seno maxilar.....</b>	<b>54</b>
<b>2.1.2 Cálculo del volumen de injerto.....</b>	<b>57</b>
<b>2.2 HIPÓTESIS.....</b>	<b>58</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....</b>	<b>60</b>
<b>3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....</b>	<b>60</b>
<b>4 MATERIAL Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.MATERIAL.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.1 Población de estudio.....</b>	<b>63</b>
4.1.1.1 Cálculo del volumen total y mediciones lineales.....	63
4.1.1.1.1 Criterios de inclusión.....	63
4.1.1.1.2 Criterios de exclusión.....	64
4.1.1.2 Cálculo del volumen de injerto.....	64
<b>4.1.2 Recogida de datos.....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.3 Variables del estudio.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 MÉTODO.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.1 Diseño del estudio.....</b>	<b>65</b>

<b>4.2.2 Estudio radiográfico</b> .....	66
4.2.2.1 Obtención de las imágenes.....	66
4.2.2.2 Anonimización de los datos.....	67
<b>4.2.3 Realización de las mediciones</b> .....	70
4.2.3.1 Mediciones lineales.....	73
4.2.3.1.1 <i>Altura de la cresta ósea remanente</i> .....	74
4.2.3.1.2 <i>Anchura de la cresta ósea remanente</i> .....	75
4.2.3.1.3 <i>Altura del seno maxilar</i> .....	76
4.2.3.1.4 <i>Anchura del seno maxilar</i> .....	76
4.2.3.1.5 <i>Longitud del seno maxilar</i> .....	77
4.2.3.1.6 <i>Distancia máxima entre ambos senos maxilares</i> ...	77
4.2.3.1.7 <i>Distancia entre agujeros infraorbitarios</i> .....	78
4.2.3.2 Mediciones volumétricas.....	78
4.2.3.2.1 <i>Cálculo del volumen total del seno maxilar</i> .....	78
4.2.3.2.2 <i>Cálculo del volumen de injerto</i> .....	86
<b>4.2.4 Revisión de datos</b> .....	92
<b>4.3 TAMAÑO MUESTRAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	92
<b>4.3.1 Tamaño muestral</b> .....	92
<b>4.3.2 Análisis estadístico</b> .....	92
<b>5 RESULTADOS</b> .....	94
<b>5.1 PRESENCIA/AUSENCIAS DENTARIAS</b> .....	94
<b>5.1.1 Número de dientes ausentes en el lado derecho</b> .....	94

5.1.2 Número de dientes ausentes en el lado izquierdo.....	94
<b>5.2. MEDICIONES LINEALES.....</b>	<b>96</b>
5.2.1 Altura de la cresta ósea remanente en el lado derecho.....	96
5.2.2 Altura de la cresta ósea remanente en el lado izquierdo.....	96
5.2.3 Anchura de la cresta ósea remanente en el lado derecho.....	97
5.2.4 Anchura de la cresta ósea remanente en el lado izquierdo.....	97
5.2.5 Altura seno maxilar derecho.....	99
5.2.6 Altura seno maxilar izquierdo.....	99
5.2.7 Anchura seno maxilar derecho.....	100
5.2.8 Anchura seno maxilar izquierdo.....	100
5.2.9 Longitud seno maxilar derecho.....	102
5.2.10 Longitud seno maxilar izquierdo.....	102
5.2.11 Distancia máxima entre ambos senos maxilares.....	103
5.2.12 Distancia entre agujeros infraorbitarios.....	103
<b>5.3 MEDICIONES VOLUMÉTRICAS.....</b>	<b>105</b>
5.3.1 Cálculo del volumen total.....	105
5.3.1.1 Volumen total del seno maxilar derecho.....	105
5.3.1.2 Volumen total del seno maxilar izquierdo.....	105
5.3.1.3 Relación entre volumen total y nº de dientes ausentes.....	109
5.3.1.4 Relación entre volumen total y edad.....	110
5.3.1.5 Relación entre volumen total y sexo.....	111
5.3.1.6 Volumen por edad y sexo.....	112

<b>5.3.2 Cálculo del volumen de injerto</b> .....	113
5.3.2.1 Volumen de injerto en el lado derecho.....	113
5.3.2.2 Volumen de injerto en el lado izquierdo.....	113
5.3.2.3 Volumen de injerto y sexo.....	113
5.3.2.4 Altura de la cresta ósea remanente.....	115
5.3.2.5 Anchura de la cresta ósea remanente.....	116
<b>6 DISCUSIÓN</b> .....	121
<b>6.1 VOLUMEN TOTAL</b> .....	121
<b>6.2 VOLUMEN DE INJERTO</b> .....	126
<b>7 CONCLUSIONES</b> .....	137
<b>8 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	139
<b>9 ANEXOS</b> .....	156
<b>9.1 INFORME DEL COMITÉ DE BIOÉTICA</b> .....	157
<b>9.2 CONSENTIMIENTO INFORMADO</b> .....	158
<b>9.3 ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	159
<b>9.4 ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS</b> .....	161
<b>9.5 ARTÍCULOS PUBLICADOS</b> .....	163
<b>9.5.1 Artículo nº 1</b> .....	163
<b>9.5.2 Artículo nº 2</b> .....	172

### **Introducción**

El objetivo del presente trabajo de investigación consiste en analizar la fiabilidad del software ITK-SNAP como herramienta en el cálculo preoperatorio del volumen de injerto necesario para la realización de técnicas quirúrgicas de elevación de seno maxilar, así como en la determinación de sus dimensiones y volumen total. Se trata de un estudio descriptivo observacional transversal y que cuenta con la aprobación del Comité de Bioética de la Universidad de Santiago de Compostela.

### **Material y metodología**

Mediante el empleo de imágenes CBCT y el software ITK-SNAP, hemos estudiado el volumen total de los senos maxilares en un total de 68 pacientes, de los cuales 26 fueron varones y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años, siendo analizados un total de 129 senos maxilares.

Asimismo, hemos calculado la cantidad de material de injerto necesaria para la realización de una cirugía de elevación de seno maxilar y la posterior rehabilitación mediante la inserción de implantes dentales osteointegrados de 12 mm de longitud en un total de 116 senos maxilares.

### **Resultados y conclusiones**

En relación al volumen total de los senos maxilares, en el lado derecho el valor mínimo fue de 2648 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 29650 mm<sup>3</sup> y la media fue de 13978 mm<sup>3</sup>, y en el lado izquierdo el valor mínimo fue de 3246 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 27200 mm<sup>3</sup> y la media fue de 14950 mm<sup>3</sup>.

En relación al volumen de injerto para una altura de 13 mm, en el lado derecho el valor mínimo fue de 366.4 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 3178.0 mm<sup>3</sup>, y la media fue de 1321.5 mm<sup>3</sup>, y en el lado izquierdo el valor mínimo fue de 308.3 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 5940.0 mm<sup>3</sup>, y la media fue de 1503.5 mm<sup>3</sup>.

El análisis estadístico de nuestro estudio, ha podido confirmar que el empleo de imágenes CBCT combinado con la utilización del software ITK.SNAP es un método eficaz para calcular el volumen total del seno maxilar y las dimensiones de los mismos, así como para realizar con una alta predicción la determinación

preoperatoria del volumen de material de injerto necesario para poder realizar una elevación de seno maxilar y posteriormente su rehabilitación mediante el empleo de implantes osteointegrados de 12 mm de longitud.

**Palabras clave:** Seno maxilar, ITK-SNAP, volumen del seno maxilar, CBCT, Volumen de injerto.

### **Introdución**

O obxectivo deste traballo de investigación é analizar a fiabilidade do software ITK-SNAP como ferramenta no cálculo preoperatorio do volume do enxerto necesario para realizar técnicas cirúrxicas de elevación do seo maxilar, así como na determinación das súas dimensións e volume total. Trátase dun estudo descritivo observacional transversal e que conta coa aprobación da Comisión de Bioética da Universidade de Santiago de Compostela.

### **Material e metodoloxía**

Mediante imaxes CBCT e software ITK-SNAP, estudamos o volume total dos seos maxilares nun total de 68 pacientes, dos cales 26 eran homes e 42 mulleres, cunha idade entre 40 e 76 anos, cunha media de 60 anos, analizándose un total de 129 seos maxilares.

Así mesmo, calculouse a cantidade de material de enxerto necesario para realizar unha cirurxía de elevación do seo maxilar e a posterior rehabilitación mediante a inserción de implantes dentais osteointegrados de 12 mm de lonxitude nun total de 116 seos maxilares.

### **Resultados e conclusións**

En relación ao volume total dos seos maxilares, no lado dereito o valor mínimo foi de 2648 mm<sup>3</sup>, o valor máximo foi de 29650 mm<sup>3</sup> e a media de 13978 mm<sup>3</sup>, e no lado esquerdo o valor mínimo foi de 3246 mm<sup>3</sup>, o valor máximo foi de 27200 mm<sup>3</sup> e a media de 14950 mm<sup>3</sup>.

En relación ao volume do enxerto para unha altura de 13 mm, no lado dereito o valor mínimo foi de 366,4 mm<sup>3</sup>, o valor máximo foi de 3178,0 mm<sup>3</sup>, e a media de 1321,5 mm<sup>3</sup>, e no lado esquerdo o valor mínimo foi de 308,3 mm<sup>3</sup>, o valor máximo foi de 5940,0 mm<sup>3</sup> e a media de 1503,5 mm<sup>3</sup>.

A análise estatística do noso estudo confirmou que o uso de imaxes CBCT combinado co uso do software ITK.SNAP é un método eficaz para calcular o

volume total do seo maxilar e as súas dimensións, así como para realizar cunha alta predicción a determinación preoperatoria do volume de material do enxerto necesario para poder realizar unha elevación do seo maxilar e posteriormente a súa rehabilitación mediante a utilización de implantes osteointegrados de 12 mm de lonxitude.

**Palabras chave:** Seo maxilar, ITK-SNAP, volume do seo maxilar, CBCT, Volume do enxerto.

## ABSTRACT

### **Introduction**

The objective of this research work is to analyze the reliability of the ITK-SNAP software as a tool in the preoperative calculation of the graft volume necessary to perform surgical techniques for maxillary sinus lift, as well as in the determination of its dimensions and total volume. This is a cross-sectional observational descriptive study that has the approval of the Bioethics Committee of the University of Santiago de Compostela.

### **Material and methodology**

Using CBCT images and the ITK-SNAP software, we have studied the total volume of the maxillary sinuses in a total of 68 patients, consisting of 26 men and 42 women. The age range was between 40 and 76, with an average age of 60. A total of 129 maxillary sinuses were analyzed.

Likewise, we have calculated the amount of graft material necessary to perform a maxillary sinus lift surgery and the subsequent rehabilitation by inserting 12 mm long osseointegrated dental implants in a total of 116 maxillary sinuses.

### **Results and conclusions**

In relation to the total volume of the maxillary sinuses, on the right side the minimum value was 2648 mm<sup>3</sup>, the maximum value was 29650 mm<sup>3</sup> and the average was 13978 mm<sup>3</sup>. On the left side the minimum value was 3246 mm<sup>3</sup>, the maximum value was 27200 mm<sup>3</sup> and the average was 14950 mm<sup>3</sup>.

In relation to the graft volume for a height of 13 mm, on the right side the minimum value was 366.4 mm<sup>3</sup>, the maximum value was 3178.0 mm<sup>3</sup>, and the average was 1321.5 mm<sup>3</sup>, and on the left side the minimum value was of 308.3 mm<sup>3</sup>, the maximum value was 5940.0 mm<sup>3</sup>, and the average was 1503.5 mm<sup>3</sup>.

The statistical analysis of our study has confirmed that the use of CBCT images combined with the use of the ITK.SNAP software is an effective method to calculate the total volume of the maxillary sinus and its dimensions, as well as to preoperatively determine with high predictability the volume of graft material

necessary to perform a maxillary sinus lift and subsequently its rehabilitation through the use of osseointegrated dental implants of 12 mm in length.

**Keywords:** Maxillary sinus, ITK-SNAP, maxillary sinus volume, CBCT, Graft volume.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LOS SENOS MAXILARES

Los senos paranasales tienen su aparición en el tercer o cuarto mes de vida fetal, desarrollándose después del nacimiento, siendo los senos maxilares los primeros en hacerlo durante el transcurso del tercer mes de gestación. Tienen su origen en un pequeño divertículo epitelial situado en el meato nasal medio de las fosas nasales. Esta invaginación invade el mesénquima vecino atravesando la cápsula nasal y las laminillas óseas del maxilar, donde se extiende adoptando una forma esférica en la que se originan los demás senos<sup>1</sup>.

En el recién nacido se muestra como una pequeña ranura horizontal que mide alrededor de 8 mm de adelante atrás, y unos 4 mm hacia fuera, ubicada entre la órbita y la base de la apófisis ascendente del maxilar superior, estando limitada en la porción inferior por los gérmenes dentarios<sup>2</sup>.

Conserva una forma más o menos esférica hasta los seis años, adoptando una forma piramidal después de la erupción del primer molar superior definitivo. Su ritmo de crecimiento es muy lento durante la vida fetal. Al nacer, la función respiratoria actúa como estímulo en el desarrollo de la parte media de la cara<sup>1</sup> y la neumatización se genera con una velocidad de 2 mm al año, haciéndose más lento a partir de los 9 años<sup>2</sup>.

El crecimiento del seno maxilar continúa hasta la 3ª década en varones y la 2ª década en mujeres<sup>3</sup>.

## 1.2 ANATOMÍA

Se trata de una cavidad neumática que se encuentra alojada en el interior del cuerpo del maxilar superior y se comunica con las fosas nasales a través del meato medio. También se denomina antro de Highmore<sup>1</sup>. Sus dimensiones aproximadas en el adulto son de 30 mm en sentido anteroposterior, 25 mm en anchura y 35 mm en altura. Aunque suelen ser simétricos, en ocasiones pueden observarse variaciones<sup>4,5</sup>.

Estructuralmente se estudia como una pirámide triangular cuando su borde inferior no es considerado una superficie. Cuando este borde presenta una expansión notoria, se le puede considerar como una verdadera pared, obteniendo así la forma de pirámide cuadrangular. La base es medial, paralela a la pared lateral de

las fosas nasales, y el vértice se orienta hacia el proceso malar del hueso maxilar<sup>1</sup>.

La pared anterior es convexa y corresponde a la fosa canina, cuya concavidad hace prominencia hacia la luz del seno, por arriba el conducto infraorbitario se insinúa como una eminencia en la cavidad sinusal. En esta pared está situado el conducto alveolar anterior y medio. Es una pared delgada con un espesor aproximado de 1mm<sup>1</sup>.

La pared superior corresponde al suelo de la órbita. Presenta una ligera inclinación hacia fuera y de arriba abajo, insinuándose de adelante hacia atrás el conducto infraorbitario. Es una pared muy delgada que puede presentar dehiscencias en algunos puntos<sup>1</sup>.

La pared posterior corresponde a la fosa cigomática, relacionándose con la tuberosidad maxilar. En su espesor, que es mayor que en las otras paredes, se encuentran los conductos alveolares posteriores<sup>1</sup>.

La pared nasal, base o pared medial, separa el seno de la fosa nasal. Por su cara nasal sustenta los cornetes inferior y medio, mientras que su cara sinusal es lisa<sup>1</sup>. Su parte inferior corresponde al meato inferior y al suelo de la fosa nasal, correspondiendo su parte superior al meato medio. En la parte superior se halla el orificio maxilar u ostium de drenaje, que conecta el seno con la cavidad nasal<sup>1</sup>.

El vértice corresponde a la pared medial del hueso cigomático, al que en ocasiones emite una prolongación<sup>1</sup>. El borde anterior está formado por la unión de la pared anterior a la pared nasal, su borde posterior corresponde al borde posterior del maxilar, mientras que el borde superior está formado por la unión de la pared orbitaria y la pared nasal<sup>1</sup>.

El borde inferior o suelo del seno maxilar es una superficie que se forma por la confluencia de las paredes anterior, posterior y medial y se encuentra generalmente 0,5 a 1 cm por debajo del suelo de las fosas nasales. Corresponde al segmento posterior del borde alveolar, y tiene una relación muy estrecha con los ápices de los molares y premolares superiores, estando separados del antro sinusal por una delgada capa de tejido esponjoso, aunque en ocasiones pueden estar en contacto directo con la misma. Puede tener forma triangular, rectangular, semilunar o reniforme<sup>1</sup>.

La cavidad sinusal se encuentra recubierta por un epitelio columnar o cuboidal pseudoestratificado ciliado conocido como la membrana de Schneider, en

ella las células de Goblet y las glándulas están presentes para proporcionar el moco sinusal<sup>6</sup>. Esta mucosa es delgada (aproximadamente de 1mm) y está unida al periostio. La membrana del seno maxilar no se desgarrar con facilidad y varía mucho su grosor dependiendo de sus relaciones anatómicas, y en estados patológicos el grosor puede alcanzar de 10 a 15 mm<sup>7</sup>.

El seno maxilar se puede definir como una cavidad mixta<sup>8</sup>:

-Cavidad nasal: Ya que forma parte de las fosas nasales con las que se comunica por el ostium al meato medio. Este orificio no debe obstruirse en las cirugías de elevación de seno maxilar, ya que es el drenaje del mismo y está situado normalmente a 30 mm del suelo sinusal<sup>8</sup>.

-Cavidad dentaria: Por su relación íntima con las raíces de premolares y molares superiores<sup>8</sup>.

### 1.2.1 Vascularización

La vascularización del seno maxilar está garantizada por la arteria maxilar interna, que da lugar a cuatro ramas<sup>9</sup>:

-Arteria infraorbitaria.

-Arteria esfenopalatina.

-Arteria palatina descendente.

-Arteria alveolar posterior superior. Ésta, a su vez, se divide en dos ramas:

-Rama gingival. Recorre superficialmente la pared ósea para irrigar las áreas premolar y molar, formando una anastomosis con una rama extraósea de la arteria infraorbitaria a una distancia de 23-26 mm desde la cresta alveolar.

-Rama dental. Forma una anastomosis intraósea con la arteria infraorbitaria en la pared sinusal anterolateral a una distancia de 18.9-19.6 mm desde la cresta alveolar<sup>9</sup>.

Se denomina arteria alveolar antral a la anastomosis entre la arteria alveolar posterior superior y la arteria infraorbitaria.

Al realizar la cirugía de elevación de seno maxilar es de gran importancia el conocimiento de la distribución, trayecto, y posibles anastomosis existentes, así como su localización intra y extraósea de dichos vasos sanguíneos.

En 2007, Mardinger y colaboradores<sup>10</sup> publicaron un estudio que tenía como objetivo caracterizar la prevalencia, el diámetro y el curso de la anastomosis intraósea entre la arteria alveolar posterior superior y la arteria infraorbitaria (canal óseo) involucrada en el procedimiento de aumento del suelo del seno. Los datos de 208 senos paranasales se analizaron a partir de imágenes de tomografía computarizada (TC) reconstruida. La presencia de la anastomosis intraósea en la pared antral lateral se detectó mediante cortes del plano sagital, además se examinó el trayecto intraóseo y el diámetro del canal óseo. El canal óseo fue identificado en 114 (55%) de los 208 senos maxilares, con una distancia media de 16.9 mm desde el reborde alveolar.

De los canales examinados, en el 7% el diámetro era de 2-3 mm de ancho, en el 22% de 1-2 mm y en el 26% tenía menos de 1 mm de ancho. Debido a que solo en el 50% de los casos el vaso era lo suficientemente grande para ser detectado por una tomografía computarizada, recomendaron colocar el borde superior de la osteotomía hasta 15 mm desde la cresta alveolar en crestas tipo A a C para evitar la perforación de la arteria.

Posteriormente, en 2011, el grupo de Rosano<sup>11</sup> estudió la prevalencia, localización y trayecto de la anastomosis entre la rama dental de la arteria alveolar posterior superior, conocida como arteria alveolar antral (AAA), y la arteria infraorbitaria (AIO). Observaron una anastomosis entre estas arterias por disección en el contexto de la pared anterolateral del seno en el 100% de los casos, mientras que se detectó con radiografía un canal óseo bien definido en 94 de los 200 senos estudiados (47% de los casos). La distancia vertical media desde el punto más bajo de este canal óseo hasta la cresta alveolar fue de  $11.25 \pm 2.99$  mm en los maxilares examinados por TC. El diámetro del conducto fue  $<1$  mm en el 55.3% de los casos, 1-2 mm en el 40.4% de los casos y 2-3 mm en el 4.3% de los casos. En el 100% de los casos, se encontró que el AAA era parcialmente intraóseo, es decir, entre la membrana sinusal y la pared ósea lateral del seno, en la zona elegida para la realización de la antrostomía.

Otro estudio similar fue el publicado en 2014 por el equipo de Maridati<sup>9</sup>, en el que describieron una nueva técnica que permite el aislamiento de la AAA en las cirugías de elevación de seno en aquellos casos en los que la arteria está claramente presente dentro del área quirúrgica, detectable a través de un examen de tomografía

computarizada

En 2016, Lee y colaboradores<sup>12</sup> investigaron la distribución y prevalencia de esta anastomosis en una población coreana, mediante imágenes de tomografía computarizada (TC) tomadas antes de la cirugía de elevación de seno maxilar. Estos autores consideraban que los hallazgos radiográficos de este estudio podrían ser utilizados para decidir la línea de osteotomía lateral evitando posibles complicaciones vasculares. Sin embargo, solo se pudo detectar un tercio de los canales en las tomografías computarizadas; razón por la que se debe tener precaución ante la posibilidad de sangrado severo durante la osteotomía lateral.

El drenaje venoso es llevado a cabo mediante la vena alveolar posterior y la vena alveolar inferior<sup>13</sup>.

Los vasos linfáticos son muy abundantes y terminan en los ganglios submaxilares. La linfa de la mucosa del seno maxilar drena por las vías submucosas del ostium de las fosas nasales y de la nasofaringe<sup>7</sup>.

### 1.2.2 Inervación

La rama maxilar del nervio Trigémino proporciona la inervación de las paredes y de la membrana sinusal. Su distribución es la siguiente<sup>1</sup>:

- El nervio alveolar posterior y medio inerva la pared posterior.
- El nervio alveolar anterosuperior inerva la pared anterior.
- El nervio infraorbitario inerva la pared superior y media.
- El nervio palatino mayor inerva la pared inferior y al ostium.
- El nervio nasal superior inerva al meato medio.

### 1.2.3 Función

Aunque en la actualidad la función real de los senos maxilares es en gran parte desconocida<sup>14</sup>, existen estudios previos que han sugerido que se les atribuyen una serie de funciones, tales como:

- Evacuación: Durante la inspiración se favorece la evacuación de los senos mediante corrientes aéreas que discurren de forma espiroidea en su interior<sup>2</sup>.
- Función defensiva: Su secreción mucosa contiene lisozima, que tiene propiedades antibacterianas<sup>2</sup>.
- Resistencia: Aumentan la resistencia craneal a los golpes mecánicos<sup>2</sup>.

- Función respiratoria: Calientan y humedecen el aire inspirado<sup>2</sup>.
- Función fonadora: Confieren resonancia durante la fonación<sup>2</sup>.
- Cavidad neumática: Contribuyen a la distribución de fuerzas del cráneo<sup>2,14,15</sup>.

#### 1.2.4 Variaciones anatómicas y patología

Una de las variaciones más frecuentes es la presencia de tabiques óseos intrasinales o septos, que fueron descritos por Underwood en 1910. Etiológicamente, los septos antrales constituyen una malformación congénita y adquirida. Los septos congénitos, también denominados septos primarios, pueden desarrollarse en todas las regiones del seno maxilar y evolucionar durante el crecimiento de la parte media de la cara<sup>16</sup>.

En el 2006, Kim<sup>17</sup> observó que la atrofia del proceso alveolar maxilar se desarrolla de forma irregular en diferentes regiones, dejando crestas óseas en el suelo del seno maxilar, también conocidas como septos secundarios, que pueden considerarse como resultado de la pérdida dental y la atrofia.

Estas estructuras deberán ser tenidas en cuenta cuando se planifique una cirugía de elevación de seno maxilar, ya que pueden dificultar el correcto despegamiento de la membrana.

El equipo de investigación de Park<sup>18</sup>, realizó en 2011 un análisis de la anatomía del tabique del seno maxilar mediante tomografía computarizada tridimensional. Encontraron 111 septos en 400 senos maxilares (27.7%), correspondiéndose con el 37% de los pacientes. Entre los septos totales, 25 septos sinuales (22.5%) se ubicaron en la región anterior, 51 (45.9%) en el medio y 35 (31.5%) en la región posterior. Los análisis de orientación direccional mostraron que 106 septos eran bucopalatinos, 4 eran sagitales y 1 era de tipo transversal. Las alturas septales medias fueron de  $7.78 \pm 2.99$  y  $7.89 \pm 3.09$  mm en los senos derecho e izquierdo, respectivamente.

Según los resultados obtenidos en su estudio, consideran que los análisis de imágenes de TC tridimensionales pueden proporcionar información útil que puede evitar complicaciones innecesarias durante los procedimientos de elevación de seno al facilitar la identificación adecuada y oportuna de las estructuras anatómicas inherentes al seno maxilar.

Un estudio más reciente sobre los septos ha sido el realizado en 2017 por el grupo de Deyan Neychev<sup>19</sup>, en el que fue analizada la presencia de septos, su localización, tipos y altura en una población de Bulgaria, mediante el empleo de imágenes CBCT. En este trabajo observaron la presencia de al menos un septo en el 72% de los casos.

En cuanto a la orientación:

-En pacientes dentados fue sagital (63%).

-En pacientes edéntulos fue axial (58%).

Estos datos sugieren que la presencia de dentición puede ser un factor que influye en la orientación primaria de los septos.

En ese mismo año, Farina y colaboradores<sup>20</sup> compararon las dimensiones de la cresta alveolar entre zonas edéntulas y zonas dentadas contralaterales de los sextantes posteriores maxilares de los mismos individuos. Emplearon imágenes tomográficas de 32 pacientes que presentaban un sextante posterior completamente dentado y el otro completamente edéntulo.

Observaron que los sextantes edéntulos en el maxilar posterior mostraron una altura reducida y una disminución del ancho cuando se comparan con los sextantes contralaterales con dientes. Las dimensiones verticales reducidas apreciadas en los sextantes edéntulos fueron asociadas con la reabsorción de la cresta, así como a la neumatización del seno.

Un estudio similar fue llevado a cabo en ese año por parte del equipo de investigación de Pramstraller<sup>21</sup>, en el que evaluaron las dimensiones de las crestas edéntulas de los sextantes posteriores del maxilar mediante la utilización de TC. Los resultados obtenidos indican que en las regiones molares y premolares, las dimensiones de la cresta alveolar pueden precisar la realización de un procedimiento de aumento óseo para la inserción adecuada del implante en un número importante de pacientes edéntulos. Cuando los dientes adyacentes al área edéntula, tanto a nivel mesial como distal, no están presentes, la inserción de implantes de dimensiones apropiadas puede ser un proceso más complejo debido a la posición más apical de la cresta alveolar, comparado con las zonas donde ambos dientes adyacentes se encuentran en su lugar correspondiente.

En cuanto a las variaciones anatómicas, el grupo de Shahidi<sup>22</sup> realizó en 2006 un estudio de las mismas, mediante el empleo de imágenes CBCT en una población

del Sur de Irán. Después de analizar una muestra de 198 casos (396 senos), observaron que la neumatización fue la variación anatómica más detectada, siendo la neumatización anterior observada en 96 senos (24.2%). Encontraron también exostosis, hipoplasia, septos (en 180 senos, 45.4%) y la presencia de la arteria alveolar posterior superior (242 senos, 65.7%).

En una revisión bibliográfica publicada en 2017 por Ata-Ali<sup>23</sup>, observó que las variaciones anatómicas que más frecuentemente aparecían eran la neumatización del seno y la presencia de septos. Asimismo, la prevalencia de enfermedad del seno maxilar varió desde un 7.5% a un 66%, siendo las patologías más frecuentes el engrosamiento de la mucosa, la sinusitis y la opacificación sinusal.

### 1.3 DIAGNÓSTICO POR IMAGEN

La exploración radiográfica del seno maxilar se puede llevar a cabo mediante el empleo de diferentes técnicas radiográficas, que describimos a continuación.

#### 1.3.1 Radiografías convencionales

En este apartado se incluyen la ortopantomografía, la proyección lateral de cráneo o de Cadwell y la proyección de Waters.

Como ventaja principal debemos destacar la gran información que podemos obtener con una dosis pequeña de radiación y un coste relativamente bajo.

Como desventajas, mencionar que presentan la limitación de ser pruebas bidimensionales, además de la posible aparición de distorsiones y frecuente superposición de estructuras anatómicas.

En 2013, el equipo de Fortin<sup>24</sup> publicó un estudio radiológico clínico en el que comparaban imágenes panorámicas con un software de planificación tridimensional de implantes dentales en el maxilar posterior atrófico. Estos autores consideran que el empleo de la ortopantomografía para la planificación de implantes dentales en maxilares severamente reabsorbidos incrementa la exigencia de realizar técnicas de elevación de seno maxilar en contraste con la utilización de programas de planificación tridimensional y la inserción estratégica de implantes en un volumen óseo remanente pequeño.

Aunque no son empleadas en la planificación de este tipo de cirugías, queremos hacer mención a las radiografías periapicales, sobre las que el grupo de

Juluri<sup>25</sup> publicó un estudio en el 2015. Compararon las mediciones de la altura de la cresta ósea realizadas por medio de TC y radiografías periapicales digitales, llegando a la conclusión de que no existen diferencias para el maxilar superior, pero sí existen diferencias significativas en el caso de la mandíbula, sobre todo a nivel del canal del conducto dentario.

### 1.3.2 Resonancia Magnética

Aunque existen trabajos en los que se ha descrito su utilización, como el publicado en 2006 por Senel<sup>26</sup> y colaboradores, su uso se encuentra muy limitado a la valoración de tejidos blandos.

### 1.3.3 Endoscopia

Permite su visualización directa y la obtención de imágenes tridimensionales, y también se puede emplear esta técnica para la toma de biopsias en esta región<sup>27</sup>.

### 1.3.4 Tomografía computarizada (TC)

La tomografía computarizada nos proporciona la siguiente información<sup>6</sup>:

1. Anatomía
  - a. Senos
  - b. Estructuras circundantes
2. Septum
  - a. Largo
  - b. Alto
  - c. Ubicación
3. Patología
  - a. Tumores
  - b. Mucoceles
  - c. Retención de quistes
  - d. Engrosamiento de la membrana
  - e. Combinaciones
4. Calidad de la membrana
  - a. Delgada (sano)

- b. Gruesa (fumadores, infecciones e inflamaciones sinusales previas)
- 5. Reborde residual
  - a. Altura
  - b. Ancho
- 6. Grosor de la pared lateral
- 7. Clasificación subantral exacta
- 8. Tamaño del seno (volumen estimado)
- 9. Vista diagnóstica de
  - a. Seno etmoidal anterior
  - b. Complejo anterior etmoides- medio meatal

### 1.3.5 Tomografía computarizada de haz cónico (CBCT)

En 1998, el equipo de investigación de Mozzo<sup>28</sup> describió un nuevo tipo de TC volumétrica que utilizaba la técnica de haz cónico en lugar de la técnica tradicional de haz de abanico. Estaba dedicada a la formación de imágenes dento-maxilofaciales, especialmente para la planificación en el campo de la implantología. La dosis de la nueva unidad era aproximadamente una sexta parte de la de la TC espiral tradicional. Consideraban que este nuevo sistema parecía ser muy prometedor en imágenes dentomaxilo-faciales y, debido a la buena relación entre rendimiento y bajo costo, junto con la baja dosis de radiación, muy interesante en vista del uso a gran escala de la técnica de TC en tales aplicaciones diagnósticas.

Mediante la realización de esta prueba previamente a la cirugía podremos evaluar los siguientes parámetros<sup>29</sup>:

-El espesor de la pared lateral del seno, ya que cuanto más gruesa sea, el procedimiento será más complejo y nos llevará más tiempo<sup>29</sup>.

- La presencia y el diámetro de la arteria alveolar antral. Puede ser observada cuando su diámetro es mayor de 0.5 mm. Podemos esperar un sangrado profuso cuando presenta un diámetro mayor de 3 mm. Esta arteria es la responsable de una hemorragia intraoperatoria, siendo la segunda complicación más frecuente en las cirugías de elevación de seno maxilar, después de la perforación de la membrana<sup>29</sup>.

-El ancho del suelo del seno maxilar y su angulación. Es importante la distancia existente entre la pared lateral y la pared medial así como el ángulo formado entre las mismas. En los casos de senos muy estrechos la técnica de la

ventana estaría contraindicada<sup>29</sup>.

- Presencia de irregularidades del suelo sinusal. Las irregularidades hacen que la cirugía sea más dificultosa en comparación con los casos donde aparece una superficie ósea plana<sup>29</sup>.

- La estrecha relación de la membrana sinusal con las raíces de los dientes adyacentes. Si la membrana entra en contacto con los dientes adyacentes al espacio edéntulo aumentará el riesgo de perforación de la misma. Esta es la razón por la cual este procedimiento resulta más dificultoso en espacios edéntulos unitarios<sup>29</sup>.

-Presencia de septos sinusales. Aproximadamente un 22.5-33% de las CBCTs muestran la presencia de septos en seno maxilar. Su presencia puede influir en el diseño de la osteotomía, llegando incluso a realizar la técnica de doble ventana<sup>29</sup>.

En 2010, el grupo de Neugebauer<sup>30</sup> estudió las imágenes CBCT de un total de 1.029 pacientes para evaluar la presencia de septos, observando su presencia en el 47% de los pacientes y en el 33% de los senos, no encontrando diferencias estadísticas en la prevalencia con respecto a la edad, el sexo o el lado. Estos autores consideran que está totalmente justificada la obtención de imágenes de calidad antes de realizar la cirugía de senos, ya que las complicaciones y la tasa de éxito de la elevación del suelo del seno están claramente relacionadas con la presencia de tabiques.

-Por lo que respecta a la estimación volumen de hueso/biomaterial necesario para la elevación de seno, en aquellos en que se vaya a utilizar hueso autólogo, si se precisa mucha cantidad, la zona donante de elección debería ser la cresta ilíaca o la tibia, mientras que la zona del mentón quedará reservada para aquellos casos en que se necesite una cantidad menor o se vaya a utilizar un injerto compuesto, mezcla de hueso autólogo y biomaterial<sup>29</sup>.

-Calidad del hueso subantral<sup>29</sup>.

Además, mediante la CBCT es posible observar determinadas situaciones especiales como el espesor de la membrana, presencia de lesiones patológicas del seno, cirugía de Caldwell-Luc previa, o la existencia de una fractura maxilar o cigomática previa<sup>29</sup>.

## 1.4 CIRUGÍA DE ELEVACIÓN DE SENO MAXILAR

Como en todos los procedimientos quirúrgicos, esta técnica presenta una serie de indicaciones y contraindicaciones, las cuales analizamos a continuación.

### 1.4.1 Indicaciones y contraindicaciones

#### 1.4.1.1 Indicaciones

Cuando planificamos la rehabilitación mediante implantes dentales de la región posterior del maxilar, nos podemos encontrar con un déficit de disponibilidad ósea a este nivel. Esta situación puede estar ocasionada por la neumatización del seno maxilar y/o la reabsorción de la cresta ósea residual. En estos casos está indicada la cirugía de elevación del suelo del seno maxilar, ya que nos va a proporcionar un incremento del volumen óseo a este nivel para la posterior rehabilitación mediante el empleo de implantes osteointegrados.

#### 1.4.1.2 Contraindicaciones

En el 2000, Van den Bergh<sup>31</sup> describió las contraindicaciones que puede presentar esta técnica, clasificándolas en:

**-Contraindicaciones relativas:**

- Presencia de irregularidades en el suelo del seno.
- Presencia de septos.
- Tumefacción o patología transitoria de la mucosa sinusal.
- Presencia de un seno maxilar estrecho.

**-Contraindicaciones absolutas:**

- Presencia de enfermedades del seno maxilar (tumores).
- Senos maxilares que previamente hayan sufrido una cirugía destructiva como la técnica de Caldwell-Luc.

#### 1.4.1.3 Factores determinantes

En 2017, Ting y sus colaboradores<sup>32</sup> realizaron una descripción general completa de revisiones sistemáticas y metaanálisis del procedimiento de aumento del seno maxilar para la rehabilitación mediante implantes dentales. Como resultado de esta revisión, sugieren que los siguientes factores aumentarán el éxito de la elevación de

seno y la supervivencia de los implantes insertados en los senos injertados:

1. El empleo de membranas barrera sobre la ventana lateral cuando se utiliza este tipo de abordaje.
2. El uso de hueso autólogo particulado con o sin otros materiales de injerto.
3. El aumento sinusal sin la utilización de material de injerto puede ser utilizada siempre y cuando se pueda mantener el espacio entre la membrana y el suelo del seno.
4. El empleo de implantes de superficie rugosa.
5. Colocación simultánea de implantes con una altura de hueso residual superior a 4 mm.
6. El cese del hábito tabáquico.

## 1.4.2 Técnicas

### 1.4.2.1 Técnica traumática

También llamada técnica de ventana lateral o de Tatum<sup>33</sup>, ya que este autor fue el primero en describirla en 1976, siendo Boyne y James<sup>34</sup> los primeros en publicarla en 1980. Se basa en la realización de una ventana en la pared ósea lateral sinusal, continuando con el despegamiento y elevación de la membrana, habilitando un espacio entre la misma y el suelo del seno, que seguidamente se rellena mediante la utilización de hueso autólogo o biomateriales<sup>35</sup>.

Con el procedimiento de ventana lateral, puede lograrse un aumento de altura ósea vertical de más de 9 mm, mientras que con los osteótomos el incremento será de 3 a 9 mm<sup>36</sup>.

Existen diferentes modificaciones de esta técnica, destacando la presentada por el equipo de Maridati<sup>9</sup> en 2014, indicada en aquellos casos en que la arteria alveolar antral, resultante de la anastomosis entre la arteria alveolar posterior superior y la arteria infraorbitaria, se encuentre localizada en el lugar de la antrostomía, siendo detectada por medio de una TC. Describen la realización de una doble ventana que les permite aislar dicha arteria y evitar posibles hemorragias.

Otra variación de esta técnica es la descrita en 2018 por el grupo de Rahpeyma<sup>37</sup>, denominada “palatal sinus lift”, en la que realizan la ventana a nivel

palatino, estando indicada en aquellos pacientes que presenten grandes cicatrices a nivel vestibular, hueso vestibular grueso, receso palatonasal profundo y en los procesos de reentrada quirúrgica.

#### 1.4.2.2 Técnica atraumática

También es conocida como técnica transalveolar, técnica de acceso crestal o técnica de Summers. Fue descrita por primera vez en 1986 por Tatum<sup>38</sup> como una alternativa a la técnica traumática o de ventana lateral. Posteriormente, en 1994, Summers<sup>39</sup> describe esta técnica en la que emplea osteodilatadores cilindro-cónicos que van incrementando su diámetro de manera progresiva, correspondiéndose así la base de cada uno con la parte activa del siguiente, logrando una expansión del maxilar en dirección horizontal y vertical, permitiendo la inserción del implante de manera inmediata.

En el 2012, el equipo de Esfahanizadeh<sup>40</sup> realizó un estudio comparativo de la técnica de la ventana y la técnica de osteótomos en el que después de realizar una evaluación histológica e histomorfométrica, llegaron a la conclusión de que la naturaleza y el volumen del hueso neoformado son los mismos para las dos técnicas empleadas.

#### 1.4.2.3 Técnica de desarrollo del sitio futuro (“future site development”)

Fue publicada en 1995 por Summers<sup>41</sup>. Es una variante de la técnica descrita anteriormente, destinada para ser utilizada en aquellos casos que presenten rebordes alveolares con una altura menor de 5 mm. Emplea una trefina para fresar el hueso hasta 1mm por debajo del suelo del seno. Seguidamente, mediante la utilización de un osteótomo se fractura el suelo, desplazando el cilindro óseo al interior, y se rellena el espacio creado con material de injerto. En esta técnica, la colocación del implante se realiza de forma diferida.

#### 1.4.2.4 Técnica de osteótomos y endoscopia

Fue presentada en 1997 por Engelke y Deckwer<sup>42</sup> y se basa en una elevación transcrestal mediante osteótomos guiada por endoscopia, sirviéndose de ella para la colocación de los implantes y la aplicación del material de injerto, al tiempo que se comprueba de manera simultánea la integridad de la membrana.

#### 1.4.2.5 Elevación de seno y cirugía piezoeléctrica

En 1998 Torrella y colaboradores<sup>43</sup> publicaron un artículo en el que describían la realización de la ventana mediante el empleo de puntas de ultrasonidos convencional destacando una mejor visión, una menor osteotomía y, sobre todo, una reducción del riesgo de perforación de la membrana.

En 2001, Vercellotti<sup>44</sup> realizó la elevación de la membrana desde el suelo del seno utilizando tanto elevadores piezoeléctricos como la fuerza de una solución fisiológica sometida a cavitación piezoeléctrica.

En 2007, Wallace y su equipo<sup>45</sup> publicaron los resultados clínicos de una serie de 100 casos consecutivos realizados utilizando esta técnica, observando que la tasa de perforación de la membrana se redujo del 30% al 7%. Además, todas las perforaciones con la técnica piezoeléctrica ocurrieron durante la fase de instrumentación manual y no con los insertos piezoeléctricos.

En 2010, el grupo de Troedhan<sup>46</sup> desarrolló el sistema IntraLift (Acteon Satelec, Francia) que consiste en el empleo de determinadas puntas ultrasónicas para realizar la elevación transcrestal mediante cavitación hidrodinámica.

Ese mismo año, Toscano y colaboradores<sup>47</sup> evaluaron el efecto de la tecnología piezoeléctrica en las perforaciones de la membrana sinusal en la técnica de ventana. Evaluaron un total de 56 elevaciones de seno mediante ventana lateral consecutivas, obteniendo un total de 0 perforaciones durante la preparación de la antrostomía, mientras que observaron 2 que se produjeron en el despegamiento de la membrana mediante instrumental manual, asociándose en ambos casos a la presencia de septos. El porcentaje de perforación fue del 3.6%, además, encontraron ramas de la arteria alveolar posterior superior en 35 casos, no apreciando ninguna laceración.

#### 1.4.2.6 Técnica transcrestal sin osteótomos

En el 2000, Cosci y Luccioli<sup>48</sup> presentaron esta técnica consistente en la elevación transcrestal mediante la utilización de fresas atraumáticas de diferentes longitudes que van desgastando la cortical del suelo del seno, evitando tener que provocar la fractura de la misma mediante medios mecánicos.

#### 1.4.2.7 Técnica del globo o balón antral

Esta técnica también es conocida con las siglas AMBE, que corresponden a “Antral Membrane Balloon Elevation”. Fue descrita en 2003 por el grupo de Munoro<sup>49</sup> y consiste en la utilización de un globo o balón hemostático nasal para lograr el despegamiento y desplazamiento de la membrana sinusal. Es una variante de la técnica de Summers. En 2014, Kfir y su equipo<sup>50</sup> afirmaron que esta técnica se puede realizar de forma segura en pacientes asintomáticos en presencia de patología de la membrana sinusal si el complejo osteomeatal no se encuentra obstruido. Consideran que en comparación con la técnica de ventana lateral, es menos probable que se produzca una obstrucción de dicho complejo cuando se emplea este procedimiento.

#### 1.4.2.8 Técnica de elevación del suelo del seno sin injerto

Recientemente se han publicado una serie de trabajos en los que se describe la realización de elevaciones de seno maxilar en las que no se emplea ningún tipo de material de injerto.

En 1993, Linde y colaboradores<sup>51</sup> propusieron la posibilidad de formación ósea in situ cuando un espacio aislado es creado y mantenido entre el periostio y el córtex de la calota. Observaron que este espacio que inicialmente es rellenado por un coágulo de sangre, fue posteriormente ocupado por hueso neoformado. Esta observación sugiere que el espacio creado en la elevación de seno no precise ser rellenado, siempre y cuando se permita un tiempo de curación adecuado para permitir la regeneración de hueso neoformado<sup>52</sup>.

Posteriormente, en 2016, el grupo de Hedge<sup>53</sup> publicó una revisión bibliográfica sobre la utilización de esta técnica. Los criterios de selección de los artículos fueron:

- Procedimiento de elevación sinusal directa sin ningún material de injerto durante la colocación del implante.
- Estudios realizados en humanos o en animales con un mínimo de seguimiento de 6 meses o más.

Debido a la heterogeneidad en todos los estudios, no fue posible agrupar los datos, lo que impidió la realización de un metaanálisis concluyente. Teniendo en cuenta todos los factores revisados a este respecto a lo largo de los resultados, la

técnica de elevación directa del seno sin injerto puede ser indicada como una opción terapéutica viable, teniendo en cuenta sus limitaciones.

El incremento óseo en todos los estudios osciló con un rango que fue de 2.37 a 10 mm y con una tasa de supervivencia de los implantes que varió de 79.9% al 100%.

### 1.4.3 Alternativas terapéuticas a la elevación de seno maxilar

#### 1.4.3.1 Utilización de implantes cortos

Se consideran implantes cortos a aquellos que tengan una longitud igual o menor de 8 mm, existiendo en la literatura diversos trabajos que tienen como objetivo el estudio de la supervivencia de los mismos.

Renouard y colaboradores<sup>54</sup>, tras realizar una revisión bibliográfica, llegaron a la conclusión de que las tasas de supervivencia para implantes cortos y diámetro ancho son comparables a las de los implantes más largos o de diámetro estándar cuando la preparación quirúrgica se adapta a la densidad ósea, cuando se utilizan implantes de superficie texturizada, cuando se consideran las indicaciones de tratamiento, y cuando se trata de un cirujano experimentado.

En 2017, el equipo de Fan<sup>55</sup> realizó una revisión sistemática completa y un metaanálisis basado únicamente en ensayos clínicos aleatorizados para comparar la tasa de supervivencia y complicaciones de los implantes cortos (5-8 mm) y los implantes largos (>8mm). Incluyeron un total de 554 implantes, perteneciendo 265 al grupo de implantes cortos. No encontraron diferencias entre las tasas de supervivencia de los implantes cortos y largos. Las complicaciones en implantes cortos son menores que en los implantes largos, aunque consideran que se requieren más estudios para confirmar estos hallazgos.

Sin embargo, existen estudios con resultados contradictorios, como el publicado ese mismo año por el grupo de investigación de Kim<sup>56</sup>, en el que evaluaron la estabilidad de los implantes insertados en el maxilar posterior edéntulo. Incluyeron un total de 573 fijaciones, midiendo la estabilidad postoperatoria en unidades ISQ mediante el empleo del Osstell™ mentor (Integration Diagnostics AB, Gothenburg, Sweden).

La media de los valores obtenidos fue de 79.22. Observaron que los factores

que influían en la estabilidad de los implantes colocados en esta región fueron la mayor altura ósea inicial, el mayor diámetro y la mayor longitud del implante. Por otro lado, el ancho óseo inicial, el injerto óseo y el tipo de procedimiento para la elevación de seno, no demostraron tener un impacto sobre la estabilidad de los implantes en el maxilar posterior edéntulo. Como conclusión, estos autores recomiendan el empleo de implantes de un diámetro grande y mayor longitud mediante la realización de injertos óseos y elevación de seno maxilar.

#### 1.4.3.2 Colocación de implantes a nivel de la tuberosidad del maxilar

En 2009, Riddel y colaboradores<sup>57</sup> realizaron un estudio retrospectivo en el que evaluaron la supervivencia y las condiciones óseas de los implantes colocados en dos fases en esta región, observando buenos resultados a largo plazo.

Los datos obtenidos indicaron que esta técnica puede ser utilizada como alternativa a cirugías más extensas y especialmente a la elevación de seno maxilar, en aquellos casos en que se disponga de un adecuado volumen y densidad óseos. Sin embargo, consideran necesaria la realización de estudios prospectivos comparativos, para poder evaluar la eficacia de esta técnica.

#### 1.4.3.3 Implantes cigomáticos

Los implantes cigomáticos pueden ser una buena alternativa para la rehabilitación del maxilar superior que presente una reabsorción ósea severa, porque reducen la necesidad de injertos óseos tipo onlay en los sectores posteriores y procedimientos de elevación de seno maxilar, limitando el uso de injertos óseos a la zona anterior del maxilar en aquellos casos que fuera necesario.

En 2008, el grupo de Pi Urgell<sup>58</sup> presentó un estudio retrospectivo sobre 101 implantes cigomáticos (Zygoma® implants. Nobel Biocare, Göteborg, Sweden) colocados en 54 pacientes que presentaban un maxilar superior totalmente edéntulo y atrófico. Obtuvieron un porcentaje de supervivencia del 96.04%. Estos autores afirmaron que la utilización de este tipo de implantes permite al clínico una reducción del tiempo de tratamiento, suponiendo una interesante alternativa para la rehabilitación mediante prótesis fija. No obstante, estos implantes no están libres de complicaciones, y consideran necesarios estudios de supervivencia a más largo plazo para establecer su adecuado pronóstico.

#### 1.4.3.4 Colocación de implantes en arbotantes anatómicos del maxilar superior

Una opción alternativa a la cirugía de elevación de seno maxilar en la rehabilitación implantológica del maxilar atrófico es el empleo de los arbotantes anatómicos del maxilar superior para la inserción de los mismos. En 2005, Sorni<sup>59</sup> publicó una revisión bibliográfica en la que se describen estas localizaciones anatómicas:

**-Arbotante Frontomaxilar o Canino.** Se origina en el alveolo del canino superior, siguiendo el borde lateral de la apertura piriforme, formando el proceso frontal del maxilar y se une al borde medial del arco supraorbitario. La parte inferior tiene forma triangular y se interpone entre la cavidad nasal y el seno maxilar. Esta zona presenta una cortical compacta y un hueso medular denso, permitiendo la colocación de implantes largos y con angulación parasinusal<sup>59</sup>.

**-Arbotante Frontocigomático.** Se encuentra en la región del primer molar superior, formando la cresta cigomáticoalveolar, que continúa lateralmente en una curva cóncava a la apófisis cigomática del hueso maxilar y, posteriormente, al hueso cigomático. La parte inferior de este pilar está formada por la pared lateral del seno maxilar. En esta zona existen dos posibilidades:

- 1.-Colocación de los implantes en la bóveda palatina.
- 2.-Colocación de implantes transcigomáticos<sup>59</sup>.

**-Arbotante Pterigomaxilar.** Está formado por la tuberosidad, la apófisis piramidal del hueso palatino y la apófisis pterigoidea del hueso esfenoides<sup>59</sup>. La técnica fue descrita en 1989 por Tulasne<sup>60</sup>, e indica que el implante debe anclarse en la apófisis pterigoides, evitando la porción posterior del seno y el conducto palatino mayor. Existe el riesgo de dañar la arteria palatina posterior, pudiendo provocar una hemorragia importante.

En 1999, Balshi y su equipo<sup>61</sup> colocaron un total de 356 implantes en esta localización, en combinación con 1461 implantes anteriores en 189 maxilares superiores edéntulos. Durante la cirugía en estadio II y antes de la carga, 41 implantes pterigomaxilares no se osteointegraron y fueron retirados. Después de un período de carga medio de 4.68 años, se perdió 1 implante pterigomaxilar adicional. En total, se retiraron 42 de 356 implantes pterigomaxilares (11.8%). Este estudio ilustra una tasa de supervivencia acumulada del 88.2% para la colocación de implantes en el área pterigomaxilar en arcos maxilares edéntulos.

#### 1.4.3.5 Distracción alveolar histogénica

Es definida como la creación de hueso neoformado y tejidos blandos adyacentes, tras el desplazamiento gradual y controlado de un fragmento óseo, obtenido tras una osteotomía quirúrgica<sup>62</sup>. Inicialmente fue utilizada en el campo de la ortopedia y traumatología por Codivilla en 1905 y posteriormente por Illizarov<sup>62</sup>.

En el ámbito maxilofacial, fue Snyder en 1973 el primero en realizar estudios experimentales en mandíbulas de perros, y en 1992 McCarthy realizó la primera distracción mandibular en humanos mediante un distractor extraoral en un caso de microsomía hemifacial<sup>62</sup>.

Es en 1996 cuando Block realiza la primera distracción alveolar en perros, y ese mismo año, Chin describe el primer distractor alveolar aplicado a defectos alveolares en humanos tras la pérdida dental debida a traumatismo. En la actualidad existen diferentes dispositivos de distracción<sup>62</sup>.

Las indicaciones de esta técnica son<sup>62</sup>:

- Atrofia severa de la cresta edéntula.
- Deficiencias segmentarias de la cresta alveolar que no ofrecen las características apropiadas para la colocación de implantes por razones estéticas o funcionales (índice corona-implante desfavorable).
- Crestas alveolares estrechas.
- Traslación vertical gradual de dientes o implantes.

Las ventajas que aporta el empleo de esta técnica son<sup>62</sup>:

- Regeneración de tejidos blandos y duros.
- No existe zona donante.
- Menor posibilidad de exposición de los tejidos duros y menor posibilidad de reabsorción del injerto.
- Obtención de volumen de tejidos duros y blandos más predecible que en las técnicas de regeneración ósea guiada o en injertos tipo onlay.
- En el fragmento que se transporta se pueden incluir dientes o implantes<sup>62,63</sup>.
- Disminución del tiempo del tratamiento.
- Permite utilización de técnicas complementarias.

Sin embargo, hay una serie de potenciales complicaciones y desventajas que se han descrito en este tipo de procedimientos<sup>62</sup>:

- Infección de la cámara de distracción.

- Fracturas óseas.
- Consolidación prematura.
- Retraso de consolidación y no-uni6n fibrosa.
- Ligera reabsorci6n del fragmento transportado.
- Dehiscencias de la herida.
- Inestabilidad del distractor.
- Desviaciones del correcto vector de distracci6n.
- Interferencias oclusales entre la parte transmucosa del distractor y la arcada antagonista.
- Alteraciones neurol6gicas.
- Fracturas del distractor.
- Elevado coste de los distractores<sup>62</sup>.

#### 1.4.3.6 Injertos en bloque

Est6n indicados en aquellos casos en los que se observa una gran p6rdida de la cresta 6sea remanente, con el consiguiente aumento de la distancia interarcada.

En una revisi6n bibliogr6fica publicada en 2009 por el grupo de Maestre-Ferr6n<sup>64</sup> afirman que los injertos 6seos aut6logos en bloque tipo onlay son un procedimiento eficaz para el aumento de la cresta alveolar, permitiendo corregir las relaciones intermaxilares an6malas y obtener un suficiente volumen 6seo con caracter6sticas morfol6gicas adecuadas.

La reabsorci6n del injerto se reduce cuando se protege con membranas, observando que la tasa de 6xito de los implantes insertados en las 6reas reconstru6das est6 entre el 89.5% y el 95.7%<sup>64</sup>.

En los casos en que se vaya a utilizar hueso aut6logo, debemos tener presente la necesidad de una zona donante, necesitando dos zonas quir6rgicas, y las posibles complicaciones asociadas, como la aparici6n de parestesias del nervio dentario cuando recurrimos a la mand6bula, o la aparici6n de dolor y dificultad para caminar en aquellos casos que se utilice la cresta il6aca, adem6s de la posibilidad de dehiscencia de la sutura, presencia de hematomas y la reabsorci6n del injerto.

Esta t6cnica es utilizada en aquellos casos en los que se precise un aumento de la

cresta ósea, ya sea a nivel horizontal o vertical.

Consiste en el empleo de membranas, reabsorbibles o no reabsorbibles, combinadas con un injerto particulado de origen autólogo, homólogo, heterólogo o aloplástico.

En 2004, el equipo de Chiapasco<sup>65</sup> realizó un estudio en el que compararon la regeneración ósea guiada vertical y la osteogénesis por distracción vertical por su capacidad para corregir las crestas alveolares con déficit vertical y su habilidad para conservar a largo plazo el aumento óseo vertical obtenido antes y después de la inserción del implante. Los resultados sugirieron que los dos procedimientos pueden mejorar la deficiencia de crestas edéntulas reabsorbidas verticalmente, aunque la osteogénesis por distracción parece contar con un pronóstico a largo plazo más predecible en cuanto al hueso vertical ganado. Una de las complicaciones de esta técnica es la posible exposición de la membrana con la consiguiente pérdida del material de injerto.

En 2009, Espósito<sup>66</sup> publicó una revisión sistemática, analizando que varias técnicas pueden lograr un aumento óseo horizontal y vertical, aunque no aclaró en el estudio cual era la más eficiente. En sus conclusiones se comprobó los pocos ensayos clínicos existentes, el limitado período de seguimiento y un alto nivel de sesgo en los diferentes estudios.

#### 1.4.4. Material de injerto y tamaño de partícula

##### 1.4.4.1 Material de injerto

Los materiales que se emplean en las técnicas de elevación de seno maxilar se pueden clasificar en:

**-Autólogo o autoinjerto.** Se refieren a aquellos injertos que proceden del propio paciente. El hueso autólogo está considerado el “gold standard” en este tipo de cirugías. Según la localización de la zona donante se pueden diferenciar en intraorales y extraorales. Los injertos óseos autólogos se caracterizan por presentar una capacidad osteogénica, osteoconductiva y osteoconductor<sup>67</sup>.

En 2017, Reininger y colaboradores<sup>68</sup> publicaron una revisión bibliográfica sobre las zonas donantes intraorales alternativas al mentón y la rama mandibular, que se detallan a continuación:

1.-Proceso Coronioide. Debido a la necesidad de emplear anestesia general, acceso complicado, y la existencia de sitios donantes alternativos que nos proporcionan una mayor cantidad de hueso con un mejor acceso, es de escasa utilidad en implantología<sup>68</sup>.

2.-Cuerpo del cigoma. Sitio donante utilizado principalmente como particulado. Una de sus ventajas es que se encuentra cerca de los dientes antrales. Es utilizado en defectos pequeños y medianos<sup>68</sup>.

3.-Pared anterior del seno maxilar. Debido a su localización, es el ideal para realizar elevaciones de seno maxilar. No obstante, existe riesgo de perforación de la membrana sinusal que puede ser minimizado mediante el empleo de bisturí piezoeléctrico<sup>68</sup>.

4.-Arbotante cigomático alveolar. Es una zona de fácil acceso y suele ser utilizada para defectos de pequeño tamaño. Habitualmente es empleado en forma de injerto particulado, aunque es posible su utilización en bloque en pequeños defectos. Su principal complicación es la perforación de la membrana de Schneider<sup>68</sup>.

5.-Tuberosidad. Debido a que se trata de un hueso medular y poroso con un alto grado de reabsorción postoperatoria, no está recomendado su uso como injerto en bloque. Muchos estudios recomiendan su empleo en pequeños defectos<sup>68</sup>.

6.-Fosa incisiva. Se trata de un buen sitio donante con pocas complicaciones, con la capacidad de regenerar pequeños defectos, pudiendo ser utilizado de forma particulada o en bloque<sup>68</sup>.

7.-Espina nasal anterior. Es una zona con un volumen óseo muy escaso, presentando dificultad para la toma del injerto y su principal complicación es la perforación de la membrana sinusal<sup>68</sup>.

8.-Región palatina. Zona donante que presenta un gran volumen óseo. El área anatómica donde se debe extraer el injerto aún no se ha establecido de manera protocolizada<sup>68</sup>. En el 2005, Hassani y su equipo<sup>69</sup> publicaron un estudio cuyo objetivo fue cuantificar la cantidad de material de injerto óseo presente en la región anterior del paladar, para ello estudiaron un total de 21 cadáveres, realizando las osteotomías de forma monocortical, a 2 mm de la cresta ósea y paralelas al eje del diente, y a 3 mm del agujero incisivo en la línea media. Obtuvieron un volumen medio de 2.03 ml en dentados y de 2.40 ml en edéntulos, no observando diferencias

estadísticamente significativas entre los dos grupos. Estos autores consideran que según los resultados obtenidos, es evidente que esta región se puede seleccionar de manera fiable como área anatómica donante en el procedimiento de reconstrucción oral y maxilofacial, implantología y regeneración periodontal.

9.-Torus mandibular. Diferentes estudios muestran buenos resultados cuando se utiliza esta zona como donante, ya sea en bloque o en forma particulada. La principal ventaja radica en en su fácil acceso y resección, y su principal desventaja, es la cantidad limitada de hueso disponible<sup>68</sup>.

En cuanto a las zonas donantes intraorales<sup>67</sup> hay que mencionar que:

- Existe una limitada morbilidad.
- La necesidad de un segundo sitio de obtención.
- Precisan de mayor tiempo quirúrgico.
- Existencia de riesgos asociados.

En relación a las complicaciones que pueden presentarse, es necesario destacar las posibles morbilidades neurosensitivas, daños vasculares y alteraciones morfológicas en la zona donante<sup>70</sup>.

En 2017, el grupo de investigación de Sakkas<sup>71</sup> realizó una revisión de 279 pacientes con 456 procedimientos clínicos, observando la predictibilidad del hueso autólogo en las reconstrucciones de la cresta alveolar antes de la colocación del implante, independientemente del sitio donante y receptor, estando incluidas las astillas de hueso autólogo ("bone chips") para la elevación del seno. Debido a la baja morbilidad por recolección de los injertos óseos autólogos, los resultados clínicos de su estudio indican que los injertos óseos autólogos siguen siendo el "Gold Standard" en el aumento de la cresta alveolar antes de la realización de técnicas de implantología oral.

**-Homólogo o aloinjerto.** Se refieren a aquellos injertos cuya procedencia es de otro individuo de su misma especie.

**-Heterólogo o xenoinjerto.** Se refieren a aquellos que proceden de una especie diferente, siendo los más utilizados los de origen bovino, equino y coralino. El hueso heterólogo presenta únicamente propiedades osteoconductoras.

**-Aloplástico.** Se refieren a materiales inorgánicos o sintéticos. Los más utilizados son la hidroxiapatita, fosfato tricálcico, carbonato cálcico, sulfato cálcico y los cristales bioactivos .

Existen en la literatura diferentes estudios que tienen como objetivo comparar los diferentes materiales de injerto empleados en la realización de la cirugía de elevación de seno maxilar.

Cabe destacar el trabajo realizado en 2002 por el grupo de Hallman<sup>72</sup>, en el que realizaron una evaluación clínica e histológica de la integración de los implantes en el maxilar posterior después de la elevación de seno con hueso autólogo, hidroxiapatita bovina o una mezcla en una proporción 20:80. Observaron resultados similares en los 3 grupos, aunque consideran que el empleo de hueso autólogo permite una reducción en el tiempo de curación.

Asimismo, en 2008, Yamamichi y colaboradores<sup>73</sup> compararon diferentes injertos óseos y diferentes superficies de implantes utilizados para el aumento de senos maxilares. Evaluaron retrospectivamente un total de 257 pacientes con 625 implantes. Este estudio sugiere que se puede obtener el éxito del implante a largo plazo cuando los senos maxilares se aumentan con una combinación de aloinjerto óseo liofilizado desmineralizado + hidroxiapatita absorbible + hidroxiapatita no reabsorbible). Por otra parte, consideran que las superficies rugosas y la inserción diferida de los implantes parecen aumentar el éxito de los implantes en estas áreas anatómicas.

En 2013 el equipo de Netto<sup>74</sup> efectuó un análisis histométrico de la interfase cortical y esponjosa en injertos óseos autólogos, llegando a la conclusión de que la integración ósea se producía de manera similar en ambos grupos sin apenas diferencias.

En relación a los posibles cambios en el volumen del injerto, el grupo de Berberi<sup>75</sup> publicó en 2015 un estudio que tenía como objetivo cuantificar cambios óseos volumétricos tridimensionales durante un período de dos años en senos maxilares elevados con un material de aloinjerto óseo cortical mineralizado. Estudiaron un total de 11 pacientes a los que les realizaron CBCT previo a la cirugía, a las dos semanas, y al año, observando una disminución del 20.63% del volumen del injerto.

En cuanto al empleo de plasma rico en factores de crecimiento, en 2020 Ortega-Mejía y colaboradores<sup>76</sup> realizaron una revisión sistemática para evaluar el efecto del uso exclusivo de concentrados de plaquetas en la cirugía de elevación de seno, en cuanto a hueso neoformado, aumento de la altura ósea, resultados clínicos,

y evaluar los efectos beneficiosos adicionales del PRF en combinación con otros biomateriales.

Estos autores afirman que no existen pruebas sólidas para sacar conclusiones firmes sobre los efectos beneficiosos del uso exclusivo de concentrados de plaquetas en la técnica quirúrgica de elevación de seno.

Sin embargo, los estudios han mostrado resultados favorables con respecto a la supervivencia de los implantes, ganancia ósea y altura ósea. Por lo tanto, la utilización de la técnica de PRF asociada a otros biomateriales de injerto no parece proporcionar efectos beneficiosos adicionales en los procedimientos de elevación de seno, pero sin embargo, pueden mejorar el período de curación y estimular la formación ósea. Estos mismos autores, consideran que se necesitan ensayos clínicos aleatorios bien diseñados para confirmar los resultados y poder proporcionar recomendaciones aplicables a la práctica clínica.

#### 1.4.4.2 Tamaño de partícula

En 2013, el equipo de Klüppel<sup>77</sup> publicó un estudio en el que analizaron histológica y radiográficamente la influencia del tamaño de partícula de la matriz ósea bovina inorgánica (ABBM) en la reparación ósea.

Prepararon cuatro defectos óseos de 8 mm cada uno en 18 conejos adultos. A continuación, los defectos se rellenaron con hueso autógeno particulado (grupo de control) o ABBM de gránulos de tamaño grande (entre 750 y 1000 nm), mediano (entre 450 y 749 nm) y pequeño (< 450 nm). Los animales se sacrificaron a los 15, 30 y 60 días después de la cirugía. Las muestras fueron examinadas radiográficamente antes de ser sometidas a procesamiento histológico.

Observaron que el hueso autógeno mostró una ligera radiopacidad al inicio, que se incrementó en el período final, siendo muy similar al tejido óseo adyacente. Las partículas de ABBM de tamaño grande y mediano mantuvieron el mismo comportamiento radiográfico, mostrando un área radiotransparente en la porción central del defecto a los 60 días. La ABBM de gránulos de pequeño tamaño mostró una ligera radiolucidez en el período inicial, que se incrementó en los períodos posteriores. Se produjo una formación de hueso más intensa en el grupo de control (hueso autógeno). Los 3 tamaños de partículas del biomaterial dieron como resultado una infiltración inflamatoria a los 15 y 30 días. El ABBM de gránulos de

tamaño pequeño conduce a una mayor cantidad de tejido osteoide y las partículas se reabsorbieron casi por completo en los 60 días posteriores a la implantación.

Estos autores consideran que el injerto óseo autógeno conduce al mejor resultado en términos de reparación de defectos óseos. Los ABBM de gránulos de tamaño grande y mediano no se reabsorben totalmente en el período observado. El ABBM de gránulos de tamaño pequeño se reabsorbió más intensamente y condujo a una mayor formación de tejido osteoide en comparación con los gránulos de ABBM medianos y grandes.

### 1.4.5 Complicaciones

Aunque en la actualidad la cirugía de elevación de seno maxilar es una técnica segura y predecible<sup>31</sup> para lograr un aumento de volumen óseo en el área posterior del maxilar, no deja de estar exenta de complicaciones, siendo estas clasificadas en intraoperatorias o postoperatorias.

#### 1.4.5.1 Intraoperatorias

- **Perforación de la membrana de Schneider.**

La pared lateral del seno es habitualmente una estructura ósea delgada, pudiendo penetrarla fácilmente mediante el empleo de instrumental rotatorio o cortante. La frágil membrana de Schneider tiene una función relevante en la contención del material de injerto. El procedimiento quirúrgico de preparación de la ventana ósea, junto con la maniobra de despegamiento de la membrana, pueden provocar daños en la mucosa<sup>31</sup>. Otra posible causa es cuando se produce un relleno excesivo de la cavidad antral<sup>78</sup>.

Cuando las perforaciones no son demasiado grandes, se doblarán al despegar la membrana hacia adentro y hacia arriba, o se pueden pegar con un sellador de fibrina, o bien pueden ser cubiertas mediante el empleo de una membrana reabsorbible<sup>31</sup>.

Si la perforación es demasiado grande, se considerará el empleo de un injerto en bloque córtico-esponjoso para la reparación de la misma. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, la cirugía de elevación de seno deberá diferirse a un tiempo posterior<sup>31</sup>. Las perforaciones pueden

producirse debido a la presencia de irregularidades en el suelo del seno o incluso por el contacto inmediato de la mucosa sinusal con la mucosa oral<sup>31</sup>.

En 2014, el equipo de Nolan<sup>79</sup> evaluó de manera retrospectiva un total de 359 procedimientos de aumento de seno (208 pacientes) para determinar la integridad del seno durante el aumento, las complicaciones, el fracaso del injerto y la pérdida del implante. Observaron una incidencia de perforación de la membrana sinusal del 41%.

Afirman que en su estudio el uso de antibióticos para la sinusitis e infección postoperatorias y el fracaso del injerto mostró ser estadísticamente mayor en los senos con membranas perforadas durante el aumento.

- **Desplazamiento de los implantes hacia el interior del seno**<sup>78</sup>.
- **Formación de hematomas**<sup>78</sup>.
- **Sinusitis maxilar aguda**<sup>78</sup>.
- **Hemorrágicas.** Hemorragia de la arteria intraósea de pared sinusal externa<sup>8</sup>.
- **Fractura del reborde alveolar residual**<sup>8</sup>.
- **Obstrucción del ostium.** Debido a su ubicación elevada, aunque no es una complicación probable<sup>31</sup>.
- **Daño a la dentición adyacente**<sup>8</sup>.
- **Vértigo posicional paroxístico benigno.** En cuanto a la técnica de elevación mediante osteótomos o atraumática, en 2011 el grupo de Sammartino<sup>80</sup> realizó un estudio en el que se describía la aparición de este fenómeno. Estos autores creen que es debido a que la aplicación de fuerzas vibratorias y percusivas puede provocar el desplazamiento de otolitos al interior del canal semicircular posterior. Aunque suele estar más asociado a la técnica de los osteótomos debido a los golpes realizados, en 2015 Reddy y colaboradores<sup>81</sup> publicaron un caso en una elevación mediante la técnica de ventana lateral en una paciente de 30 años, que inmediatamente después de la intervención, sufrió un vértigo intenso con náuseas, vómitos y que era agravado cuando cambiaba la

posición de su cabeza hacia la derecha. Creen que pudo deberse a la posición hiperextendida y prolongada de la cabeza. También consideran que pudo influir el tiempo quirúrgico prolongado y la vibración del instrumental rotatorio empleado en la preparación de la ventana.

En 2020, el grupo de Petrocelli<sup>82</sup> evaluó la influencia de los factores de riesgo del paciente y el tiempo quirúrgico en la aparición del VPPB (vértigo posicional paroxístico benigno). Analizaron durante 2 años un total de 281 pacientes, divididos en tres grupos, que fueron sometidos a exodoncia de terceros molares, elevación de seno maxilar y cirugía ortognática.

Observaron VPPB en 21 pacientes. Algunas comorbilidades, como dislipidemia, niveles altos de colesterol, problemas vasculares, trastornos endocrinológicos, edad perimenopáusica, sexo femenino, traumatismo craneal, trastornos neurológicos, migraña, hipovitaminosis D, enfermedad autoinmune, flogosis del oído interno, pueden ser factores de riesgo para la aparición del vértigo postoperatorio. Afirman que su análisis estadístico reveló una relación entre el tiempo quirúrgico y la comorbilidad y la aparición de vértigo para cada grupo de pacientes.

#### 1.4.5.2 Postoperatorias o tardías

- **Aparición de una sinusitis maxilar crónica<sup>78</sup>.**
- **Dehiscencia de la sutura con formación de una fístula oro-antral<sup>78</sup>.**
- **Formación de un secuestro óseo.** Esta circunstancia puede provocar la pérdida del injerto óseo y de los implantes<sup>78</sup>. En 2016, Norton<sup>83</sup> publicó un caso clínico en el que observó un caso de secuestro tardío de un injerto mineral óseo bovino consolidado completamente dentro del hueso laminar del huésped, 8 años después de la elevación de seno.
- **Osteomielitis**
- **Cambios en la voz.** En 2003, Tepper y su equipo<sup>84</sup> estudiaron la posible influencia que podía tener una cirugía de este tipo en el patrón de voz del paciente.

Estos autores afirmaron que es un método seguro y que no pone en riesgo el patrón de voz característico individual de los pacientes que dependen críticamente de su voz para desempeñar su profesión.



## 2 JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

### 2.1 JUSTIFICACIÓN

#### 2.1.1 Determinación del volumen total del seno maxilar

En nuestros días, la rehabilitación oral por medio del empleo de implantes dentales es una de los tratamientos más demandados. En muchos casos, nos debemos enfrentar a situaciones en las que hay una ausencia total o una mínima cantidad de hueso remanente, y nos vemos obligados a la realización previa de diversos procedimientos quirúrgicos que nos permitan la reconstrucción de las regiones que vamos a tratar. Cuando esta situación tiene lugar a nivel de la región posterior del maxilar superior, una de las técnicas quirúrgicas más utilizada es la cirugía de elevación de seno maxilar, que se basa en practicar una ventana en la pared ósea lateral sinusal, continuando con el despegamiento y elevación de la membrana, habilitando un espacio entre la misma y el suelo del seno, que seguidamente se rellena mediante la utilización de hueso autólogo, homólogo o biomateriales<sup>35</sup>.

En sus inicios, este tipo de técnica quirúrgica se realizaba en un medio hospitalario mediante el empleo de anestesia general o sedación, siendo el material de injerto más frecuentemente utilizado el hueso autólogo, recurriendo entre otras regiones donantes a la meseta tibial o a la cresta ilíaca del paciente.

Actualmente, debido al desarrollo de la técnica y a la aparición de numerosos estudios realizados sobre diversos tipos de biomateriales, ha pasado a realizarse con mucha frecuencia en las clínicas dentales, utilizando anestesia local y de forma ambulatoria.

Esta evolución ha provocado una mayor aceptación de la técnica por parte de la población general, teniendo como consecuencia un aumento de la demanda de la misma.

Uno de los pilares fundamentales en el proceso de planificación de una cirugía de este tipo debe ser el conocimiento exhaustivo previo de la zona que va a ser intervenida, destacando su disposición anatómica, morfología y el volumen de los mismos.

Actualmente, uno de los métodos que existen para calcular el volumen de los senos maxilares consiste en la realización de mediciones sobre imágenes obtenidas

mediante tomografía computarizada (TC) o bien mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT).

En relación a los estudios que emplean imágenes TC, el primer artículo publicado al respecto fue el realizado en 1994 por Arijí y sus colaboradores<sup>85</sup>, en el que efectuaron mediciones del volumen normal del seno maxilar mediante TC axial en 115 casos, y analizaron la relación con la edad, presencia de premolares y molares, tamaño del esqueleto facial y altura y el peso corporal. Dos años después, estos mismos autores realizaron un trabajo que tenía como objetivo determinar el rango normal del tamaño del seno maxilar y sus cambios con la edad mediante tomografía computarizada (TC)<sup>86</sup>.

En 1998, el grupo de investigación de Uchida<sup>4</sup> realizó mediciones del tamaño del seno maxilar en 32 cadáveres, un total de 59 senos, para ser utilizado como ayuda para calcular el volumen del injerto óseo antes de la realización de la cirugía. Estos autores publicaron un trabajo similar en el mismo año, en que estudiaron un total de 38 senos mediante TC y reconstrucción 3D<sup>5</sup>.

Posteriormente, podemos encontrar en la literatura diferentes trabajos que utilizan este tipo de imágenes TC para poder realizar el cálculo del volumen total de los senos maxilares, obteniendo resultados satisfactorios<sup>87,88,89,90,91,92</sup>.

Además, hemos observado que otros autores han utilizado este tipo de imágenes tomográficas con diferentes propósitos, como la prevalencia, ubicación, tamaño y curso de la anastomosis entre la rama dentaria de la arteria alveolar posterior superior (AAPS), conocida como arteria antral alveolar (AAA), y la arteria infraorbitaria (AIO)<sup>10,11,12,13</sup> o la determinación del sexo mediante análisis morfométrico del seno maxilar<sup>93,94,95,96</sup>.

En cuanto a los estudios que emplean imágenes obtenidas mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), es necesario destacar que en 1998, el grupo de investigación de Mozzo<sup>28</sup> publicó un estudio sobre un nuevo dispositivo de tomografía computarizada volumétrica para imágenes dentales basada en la técnica de haz cónico, en el que afirmaban que este nuevo sistema parecía ser muy prometedor en imágenes dento-maxilo-faciales, especialmente para la planificación en el campo de la implantología, destacando una buena relación entre rendimiento y bajo costo, además de la baja dosis de radiación requerida.

En 2006, el equipo de Pinsky<sup>97</sup> analizó la precisión de las mediciones tridimensionales realizadas mediante tomografía computarizada de haz cónico. Realizaron un estudio de validación in vitro que tenía como objetivo establecer si la CBCT lineal y 3D, utilizando mediciones volumétricas, es precisa para determinar el tamaño de los defectos óseos. Estos autores consideran que la CBCT tiene el potencial de ser un método práctico, preciso y no invasivo para determinar de manera confiable el tamaño y el volumen de la lesión ósea.

De igual modo, en 2013, el grupo de Alhowalia<sup>98</sup> estudió la precisión de las imágenes CBCT en el cálculo volumétrico de lesiones periapicales simuladas, afirmando que es un método preciso para realizar mediciones volumétricas de cavidades creadas en el hueso de manera artificial con el empleo de software y entrenamiento adecuado.

Recientemente, el uso de imágenes obtenidas por tomografía computarizada para el estudio del seno maxilar ha sido reemplazado por imágenes obtenidas por tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Además del cálculo del volumen<sup>99,100,101</sup>, se han publicado diversos artículos que utilizan este tipo de imágenes CBCT para el estudio de diferentes aspectos del seno maxilar, como el análisis de posibles variaciones anatómicas<sup>22</sup>, su neumatización<sup>99,102,103</sup>, así como el efecto que la edad y el sexo del paciente pueden tener sobre el volumen del seno<sup>100</sup>, la evaluación tridimensional del seno maxilar<sup>101</sup> y la determinación sexual del individuo a través del análisis volumétrico de los senos maxilares<sup>104,105,106</sup>.

Como hemos visto en los diferentes trabajos de investigación anteriormente citados, la realización de mediciones en imágenes obtenidas mediante el empleo de la tomografía computarizada de haz cónico puede ser una herramienta muy útil a la vez que fiable a la hora de conocer las dimensiones de los senos maxilares. Asimismo, creemos que el empleo del software ITK-SNAP, nos va a posibilitar la realización de una serie de mediciones lineales de los senos maxilares, así como la segmentación de estas regiones anatómicas, permitiéndonos realizar de manera correcta el cálculo de su volumen total y la visualización de los mismos en 3 dimensiones, como se muestra en el artículo publicado al respecto por nuestro equipo de investigación<sup>107</sup> (Caamaño Martínez D, Padrón González N, Martínez Silva IM, Suárez Quintanilla JM. Calculation Of The Total Volume Of The Maxillary Sinuses Using CBCT Images And ITK-SNAP Software. IOSR Journal of

Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS) e-ISSN: 2279-0853, p-ISSN: 2279-0861. Volume 22, Issue 6 Ser.6 (June. 2023), PP 14-20. Doi: 10.9790/0853-2206061420.) (Anexo 9.5.1).

Consideramos que este método puede ser de gran utilidad tanto desde el punto de vista clínico, ya que nos va a aportar una gran ayuda en el diagnóstico y en la planificación de diversos tipos de tratamientos en los que se incluye la cirugía de elevación de seno maxilar, como desde el punto de vista anatómico, ya que nos va a permitir un mayor conocimiento de estas estructuras.

### 2.1.2 Cálculo del volumen de injerto

Cuando vamos a realizar una planificación de una cirugía de elevación de seno maxilar, debemos tener en cuenta varios factores, como el número de implantes que vamos a necesitar para poder lograr una adecuada rehabilitación, el tipo de procedimiento quirúrgico más indicado en cada paciente, la ganancia en altura ósea que debemos lograr, y el volumen de material de injerto que vamos a necesitar.

En relación a este último factor, no abundan en la literatura estudios que tengan como objetivo la determinación prequirúrgica del volumen de injerto necesario en la cirugía de elevación de seno maxilar<sup>35</sup>.

En estos trabajos de investigación, se puede apreciar la utilización de diferentes sistemas para lograr con éxito dicho objetivo, desde el empleo de imágenes TC en cadáveres<sup>4</sup>, imágenes TC de pacientes reales<sup>108,109,110</sup> o bien a través de imágenes CBCT<sup>111,112</sup> entre los que se encuentra el estudio publicado por nuestro equipo de investigación<sup>35</sup> (Caamaño D, Padrón N, Martínez IM, Suárez JM. Cálculo prequirúrgico para determinar el volumen de injerto necesario en la técnica abierta de elevación de seno maxilar. RCOE: Revista del Ilustre Consejo General de Colegios de Odontólogos y Estomatólogos de España, ISSN 1138-123X, Vol 26, N° 1 (Marzo), 2021, págs. 238-244.) (Anexo 9.5.2).

Hemos observado que varios autores han utilizado diferentes tipos de programas de planificación de implantes dentales como herramienta para realizar el cálculo de la cantidad de injerto.

Esto tiene una gran importancia, ya que si vamos a emplear biomateriales o hueso homólogo, nos permite conocer que cantidad debemos preparar, siendo

también útil para poder establecer con precisión los costes económicos, así como poder prever el número de viales que debemos solicitar a la empresa distribuidora.

Además, la predicción del volumen de injerto, nos va a permitir incluirlo en el consentimiento informado del paciente, dejando constancia en el mismo del tipo de biomaterial y el número de dosis utilizadas en la intervención. Por otra parte, en aquellos casos en los que vayamos a emplear hueso autólogo, al conocer la cantidad de injerto que vamos a necesitar, nos va a ayudar a decidir la zona donante de elección en cada caso.

## 2.2 HIPÓTESIS

Como hemos mencionado anteriormente, existen muy pocos estudios publicados que tengan como objetivo principal el cálculo preoperatorio del volumen de injerto que vamos a necesitar para la correcta realización de una cirugía de elevación de seno maxilar, y esta razón justifica nuestra hipótesis.

- **Hipótesis nula**

La utilización de imágenes obtenidas mediante el empleo de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) en combinación con el uso del software ITK-SNAP no representa un método fiable para calcular de manera preoperatoria el volumen de injerto, previamente a la realización de la técnica quirúrgica de elevación de seno maxilar.

- **Hipótesis alternativa**

El método desarrollado en el presente trabajo de investigación, basado en la utilización de imágenes obtenidas mediante el empleo de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) en combinación con el uso del software ITK-SNAP podría ser un método fiable para calcular de manera preoperatoria el volumen de injerto que va a ser necesario emplear para la realización con éxito de una cirugía de elevación de seno maxilar, así como para conocer el volumen total de los senos maxilares y sus dimensiones.



## 3 OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal que nos hemos propuesto en el presente trabajo de investigación, consiste en analizar la fiabilidad del software ITK-SNAP como herramienta para calcular el volumen de injerto de manera preoperatoria.

### 3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

Como objetivos secundarios nos proponemos:

- Calcular el volumen total y dimensiones de los senos maxilares.
- Calcular de manera preoperatoria el volumen de material de injerto que vamos a necesitar para poder realizar una elevación de seno maxilar y posterior rehabilitación mediante la inserción de implantes de 12 mm de longitud.



## 4 MATERIAL Y METODOLOGÍA

### MATERIAL Y METODOLOGÍA

El método utilizado para llevar a cabo la búsqueda bibliográfica se basó en el empleo de descriptores y operadores lógicos en la base de datos Pubmed Medline, así como la consulta en otras fuentes como Google Scholar, Scopus, Dialnet y Researchgate.

Para efectuar la búsqueda fueron empleadas varias palabras clave, bien solas o combinadas mediante el empleo de los operadores booleanos “AND” u “OR”, como: Maxillary Sinus, Maxillary Sinus Volume, Sinus lift, Graft volume in Sinus Lift. Además se han consultado diferentes libros publicados que tratan sobre la cirugía de elevación de seno maxilar, su anatomía y técnicas quirúrgicas complementarias.

Queremos señalar que cuando comenzamos la revisión bibliográfica para elaborar este trabajo de investigación, localizamos varios estudios que trataban sobre el cálculo del volumen total de los senos maxilares aunque con diferentes objetivos y metodologías. Sin embargo, no existía ningún estudio que tuviese como objetivo la determinación de manera prequirúrgica del volumen de injerto necesario para la realización de una cirugía de elevación de seno maxilar mediante el empleo de imágenes CBCT y el software ITK-SNAP<sup>35</sup>.

### DISEÑO DEL ESTUDIO

Nuestro estudio es descriptivo observacional transversal mediante el análisis de imágenes tomográficas de haz cónico de los pacientes, para comprobar la fiabilidad del software ITK-SNAP en el cálculo preoperatorio del volumen de injerto necesario para la realización de técnicas quirúrgicas de elevación de seno maxilar, así como en la determinación de sus dimensiones y volumen total.

## 4.1 MATERIAL<sup>35,107</sup>

En la realización del presente trabajo de investigación, hemos utilizado imágenes procedentes de tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT), que pertenecen al archivo de datos de la Unidad de Radiología de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela. Estas se realizaron siempre con fines diagnósticos, tras haber firmado los pacientes el correspondiente consentimiento informado (Anexo 9.2). El dispositivo empleado para obtener dichas imágenes fue el i-CAT (Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA).

Los datos de los pacientes fueron tratados de manera confidencial y siguiendo las normas establecidas en la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales.

Este trabajo fue evaluado por el Comité de Bioética de la Universidad de Santiago de Compostela, que determinó que nuestro protocolo experimental cumplía los requisitos éticos exigidos (Anexo 9.1) y se realizaría siguiendo las recomendaciones de la guía STROBE para estudios observacionales.

### 4.1.1 Población de estudio

Las imágenes CBCT que forman parte de este trabajo de investigación fueron seleccionadas en el periodo de tiempo comprendido entre el 27 de enero de 2019 y el 14 de febrero de 2020.

La selección de la muestra de las imágenes fue realizada siguiendo los criterios de inclusión y exclusión que detallamos en los apartados correspondientes.

#### 4.1.1.1 Cálculo del volumen total y realización de las mediciones lineales de los senos maxilares<sup>107</sup>

Se incluyeron un total de 68 pacientes, 26 varones y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años. Fueron estudiados un total de 129 senos maxilares.

##### 4.1.1.1.1 Criterios de inclusión<sup>35,107</sup>:

- Pacientes mayores de 18 años.
- Pacientes que presentasen a nivel del maxilar superior sectores posteriores edéntulos, de manera parcial o total, y pudiendo ser estos unilaterales o bilaterales.

-Pacientes de ambos sexos.

-Pacientes que dieron su consentimiento para que sus imágenes diagnósticas pudiesen ser utilizadas en trabajos de investigación.

#### 4.1.1.1.2 Criterios de exclusión<sup>35,107</sup>:

-Pacientes que presentasen patología quística o tumoral en esta región anatómica.

-Pacientes que hubieran sido sometidos a algún procedimiento quirúrgico en esta área anatómica o bien que hubiesen tenido algún tratamiento con implantes osteointegrados en esta área o áreas próximas.

-Pacientes que presentasen grandes defectos, malformaciones y/o grandes asimetrías en esta región.

#### 4.1.1.2 Cálculo del volumen de injerto<sup>35</sup>

Se incluyeron un total de 68 pacientes, 26 varones y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años.

En este caso, además de cumplir los criterios de inclusión y exclusión descritos anteriormente, debían presentar una altura ósea desde la cresta residual al suelo sinusal inferior a 8 mm, motivo por el cual se excluyeron un total de 13 senos maxilares de los 129 seleccionados para el estudio del volumen total. Fueron estudiados un total de 116 senos maxilares.

#### 4.1.2 Recogida de datos<sup>35,107</sup>

La recogida de datos fue realizada en la Unidad de Radiología de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela, en un periodo comprendido entre el 27 de enero de 2019 y el 14 de febrero de 2020.

Se revisaron los estudios CBCT de la base de datos de esta Unidad, seleccionando la muestra final según los criterios de inclusión y exclusión predeterminados.

Los estudios CBCT incluidos en este trabajo de investigación fueron realizados en esta Unidad de Radiología con fines diagnósticos, firmando previamente el consentimiento informado por parte de todos los pacientes, en el que

se especificaba el empleo de sus datos clínicos de manera anónima y con el objetivo de una investigación científica.

Los estudios CBCT seleccionados fueron anonimizados, eliminando así cualquier dato de carácter personal, en cumplimiento con la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales.

#### **4.1.3 Variables del estudio**

Como variables de estudio se tomaron datos de filiación y variables relativas a los datos obtenidos de los estudios CBCT de los pacientes. Las variables fueron las siguientes:

1. Edad
2. Sexo
3. Número de dientes presentes/ausentes
4. Mediciones lineales
5. Mediciones volumétricas

### **4.2 MÉTODO**

#### **4.2.1 Diseño del estudio**

Hemos realizado un estudio observacional descriptivo transversal con imágenes obtenidas mediante la realización de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y el software ITK-SNAP, con el objetivo de conocer de manera preoperatoria la cantidad de injerto necesaria para la realización de una cirugía de elevación de seno maxilar, así como calcular el volumen sinusal total y la determinación de las dimensiones de los mismos.

La selección de las imágenes CBCT fue realizada según los criterios de inclusión y exclusión anteriormente descritos.

#### 4.2.2 Estudio radiográfico<sup>35,107</sup>

Como hemos mencionado anteriormente, se emplearon imágenes CBCT pertenecientes a la Unidad de Radiología de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela.

##### 4.2.2.1 Obtención de las imágenes<sup>35,107</sup>

El dispositivo utilizado para la obtención de las imágenes fue el i-CAT (Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA), con unos parámetros de exposición de 120 kVp y 5 mA, tiempo de adquisición de 14,7 s y de reconstrucción variable, con tamaño de voxel de 0.25 mm y FOV (Field of View) de 16 cm (diámetro) x altura variable (de 4 a 7 cm) (Figura 1).

Todas las tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT) utilizadas en este estudio fueron obtenidas con los pacientes posicionados sentados, con la posición de la cabeza estabilizada mediante los dispositivos del aparato, de tal forma que el plano sagital medio se encontrase perpendicular al plano horizontal y el plano de Camper (línea imaginaria que va desde el trago hasta el ala nasal) paralelo al plano horizontal<sup>106</sup>.

Cuando el proceso de obtención de las imágenes se había completado, estas quedaban grabadas en el disco duro del ordenador.



Figura 1. Dispositivo i-CAT empleado en la adquisición de las imágenes CBCT.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2.2 Anonimización de los datos<sup>35,107</sup>

Una vez que seleccionamos el CBCT que cumplía los requisitos establecidos para nuestro trabajo de investigación, procedimos a la anonimización de los datos de carácter personal que pudiesen aparecer reflejados en el mismo, de acuerdo con la normativa vigente de la ley de protección de datos. Para tal fin utilizamos el software DicomCleaner™, que es una herramienta gratuita de código abierto con una interfaz de usuario para importar, “limpiar” y guardar archivos DICOM (Digital Imaging Communication in Medicine)<sup>113</sup>.

En este caso, el término “limpiar” hace referencia al proceso de eliminar y/o reemplazar información en el “encabezado” de DICOM. Se le ofrece al usuario el control sobre qué eliminar y reemplazar, incluida la capacidad de importar y exportar sin hacer ninguna limpieza, o desidentificar completamente el encabezado y reemplazar los atributos de identificación con nuevos valores. Otras utilidades compatibles son<sup>113</sup>:

- Importación de imágenes en el PACS local, cambio de ID de paciente y número de acceso a valores locales.
- Limpieza de imágenes para investigación o enseñanza, eliminando identificadores y reemplazándolos con valores ficticios.

Además, esta herramienta permite al usuario el control sobre<sup>113</sup>:

- Valores de reemplazo para el nombre del paciente, la identificación del paciente y el número de acceso.
- Modificación de fechas y horas (por ejemplo, la fecha de estudio), de manera que se preserven las relaciones temporales.
- Reemplazo de todos los demás atributos de identificación, como por ejemplo el nombre del profesional referente, etc.
- Eliminación o retención de descripciones, como por ejemplo la descripción del estudio.
- Eliminación o retención de las características del paciente, como por ejemplo el sexo y el peso.
- Eliminación o retención de identificadores de dispositivo, como por ejemplo el número de serie.
- Eliminación o retención de los identificadores de la institución.
- Eliminación o retención de los atributos de los ensayos clínicos.
- Reemplazo de identificadores únicos DICOM.
- Eliminación o retención de atributos privados.
- Eliminación o retención de contenido estructurado.
- Adición de una descripción del software Dicom Cleaner TM como equipo

contribuyente, para mantener un registro en los casos limpios de la herramienta que fue utilizada.

- Exportación de archivos DICOM Y DicomDIR directamente a una carpeta o un archivo zip.
- Si aceptar o no cualquier sintaxis de transferencia a través de la red o durante la importación de archivos.

Para realizar el proceso de anonimización del estudio CBCT seleccionado, realizamos la importación del mismo a la aplicación Dicom Cleaner™ (Figura 2).

A continuación, eliminamos todos los datos de identificación del paciente, procediendo a su anonimizado. Para ello, presionamos la casilla “Import”, y el estudio seleccionado nos aparece en el cuadro de la izquierda de la pantalla. Seguidamente procedemos a sustituir el nombre e identificación originales del estudio por el nombre que nosotros deseemos.

En nuestro estudio, fueron identificados mediante el siguiente sistema de nomenclatura:

-En primer lugar, van situadas las iniciales de los apellidos del paciente.

-A continuación, el sexo del paciente, asignando la letra M para las mujeres y la V para los varones.

-En último lugar, el año de nacimiento del paciente.

<b>Nombre del estudio original:</b>	<b>García López, Alberto</b>
<b>Sexo:</b>	Varón
<b>Fecha de nacimiento:</b>	1950
<b>Nombre codificado:</b>	GLV 1950

**Tabla 1. Ejemplo del sistema de nomenclatura utilizado.**

Una vez asignado el nuevo nombre al estudio, pulsamos la casilla “Limpiar”. Es entonces cuando el software procede a eliminar o cambiar todos los datos previamente determinados. Una vez finalizado el proceso, el estudio aparecerá en el cuadro de la derecha con el nuevo nombre.

A continuación vamos a la casilla “Export”, y lo guardamos en la carpeta que seleccionemos.

Para terminar, seleccionamos el estudio en ambos cuadros e iremos a la casilla “Purgar”, para eliminarlo de la aplicación. Cuando este proceso ha finalizado ya

tenemos listo el estudio CBCT para que sea importado al software ITK-SNAP y poder realizar nuestras mediciones.

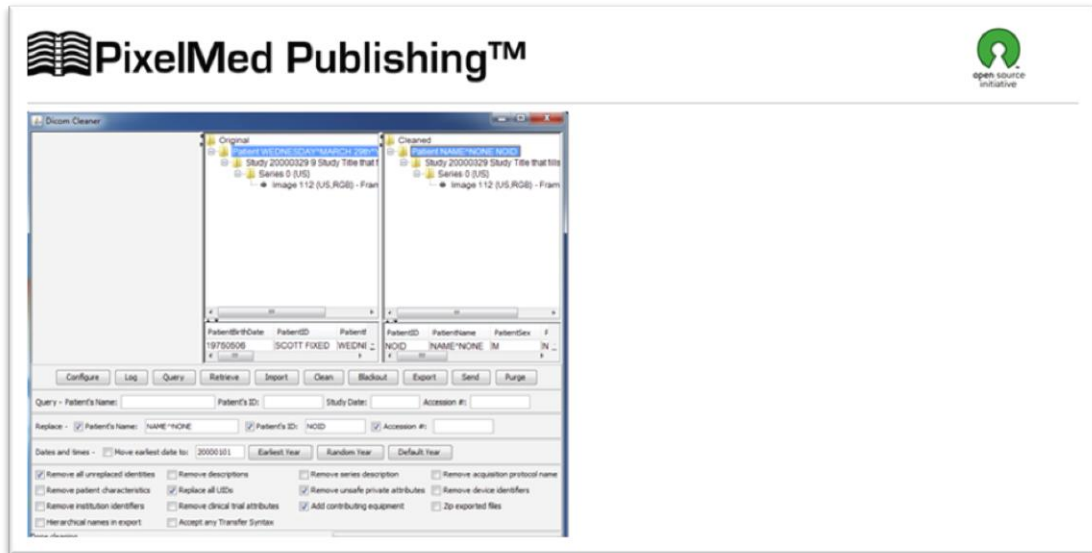


Figura 2. Imagen que muestra el proceso de anonimización de las imágenes.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3 Realización de las mediciones<sup>35,107</sup>

Para efectuar las mediciones, utilizamos el programa ITK-SNAP, que es una aplicación de software utilizada para segmentar estructuras en imágenes médicas en 3D. Es el producto de una década de colaboración entre Paul Yushkevich, Ph.D., del Penn Image Computing and Science Laboratory (PICSL) de la Universidad de Pennsylvania, y Guido Gerig, Ph.D., del Scientific Computing and Imaging Institute (SCI) de la Universidad de Utah. ITK-SNAP es gratuita, de código abierto y multiplataforma. Proporciona una segmentación semiautomática utilizando métodos de contorno activos, así como delineación manual y navegación de imágenes<sup>114,115</sup>. Además de estas funciones básicas, ITK-SNAP ofrece muchas utilidades de soporte. Algunas de las ventajas principales incluyen:

- Cursor vinculado para una navegación 3D perfecta.
- Segmentación manual en tres planos ortogonales a la vez.
- Una moderna interfaz gráfica de usuario basada en Qt.
- Compatibilidad con muchos formatos de imagen 3D diferentes, incluidos NifTI y DICOM.

- Soporte para visualización simultánea, vinculada y segmentación de múltiples imágenes.
- Soporte para imágenes en color, multicanal y con variación de tiempo.
- Herramienta de corte de planos en 3D para un rápido procesamiento posterior de los resultados de segmentación.
- Amplio tutorial y documentación en vídeo.

Este software permite la visualización en diferentes planos (axial, coronal y sagital) y manipulación de imágenes, optimizado por reconstrucciones tridimensionales. En nuestro estudio, empleamos la versión ITK-SNAP 3.6.0, denominada en su página web como “versión estable”. Para descargarla, simplemente seguimos las indicaciones que aparecen en la pantalla.

El protocolo para comenzar a trabajar con cada CBCT, es el siguiente:

En primer lugar, iremos al apartado “Open Main Image” seleccionando el caso deseado. Para poder abrir una imagen, tendremos dos opciones:

- Presionar la casilla “History”, que nos permitirá abrir imágenes con las que ya habíamos trabajado anteriormente (Figura 3).
- Presionar la casilla “Browse”, para importar una imagen que se encuentre almacenada en el disco duro de nuestro ordenador (Figura 4).

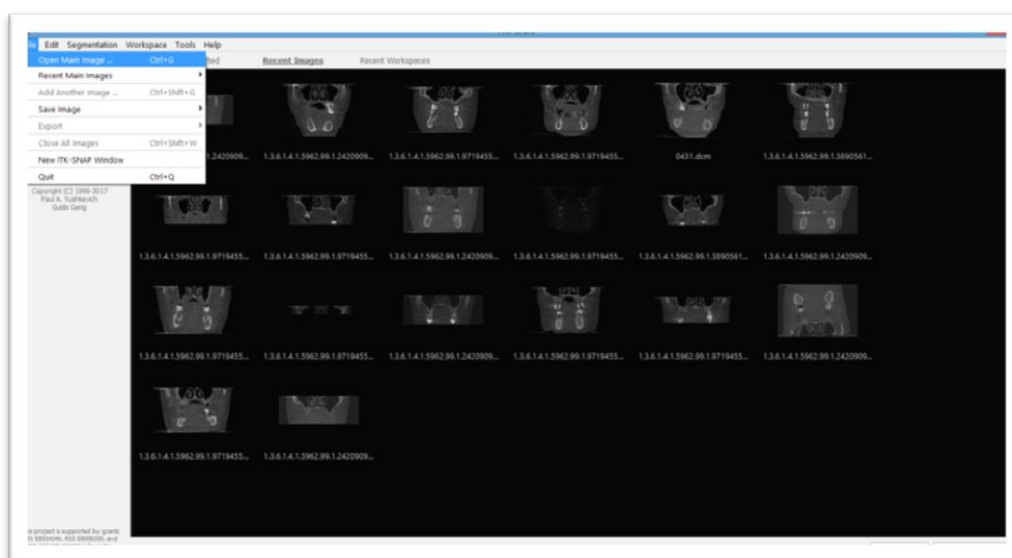


Figura 3. Búsqueda de la imagen con la que queremos trabajar mediante el empleo de la casilla “History”.

Fuente: Elaboración propia.

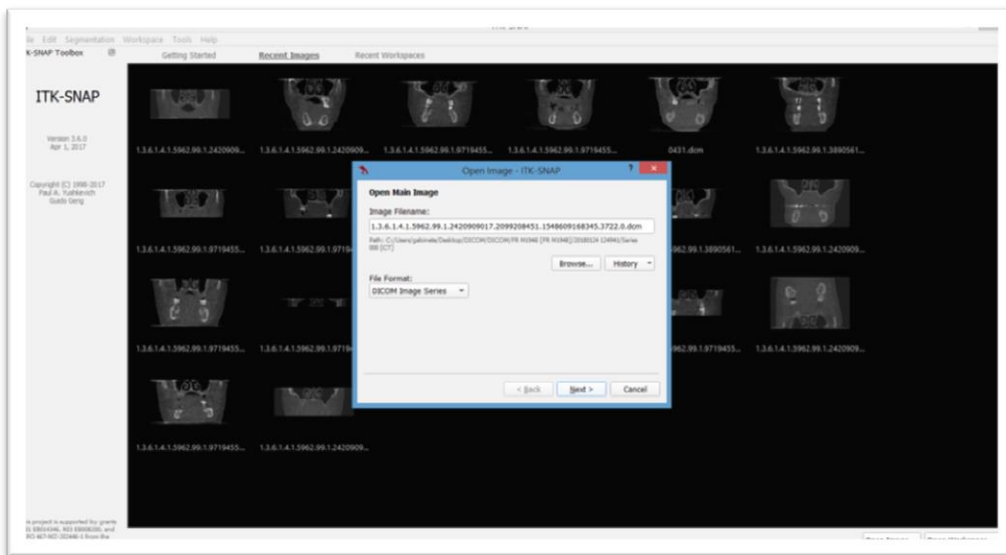


Figura 4. Apertura de la imagen seleccionada mediante la casilla “BROWSE”.  
Fuente: Elaboración propia.

Una vez abierta, el monitor nos mostrará la imagen seleccionada en cuatro recuadros diferentes:

- Recuadro superior izquierdo: Se corresponde con el corte axial.
- Recuadro superior derecho: Se corresponde con el corte sagital.
- Recuadro inferior derecho: Se corresponde con el corte coronal.
- Recuadro inferior izquierdo: Aparecerá vacío, ya que se corresponde con la imagen 3D que obtendremos una vez finalizado el proceso de segmentación.

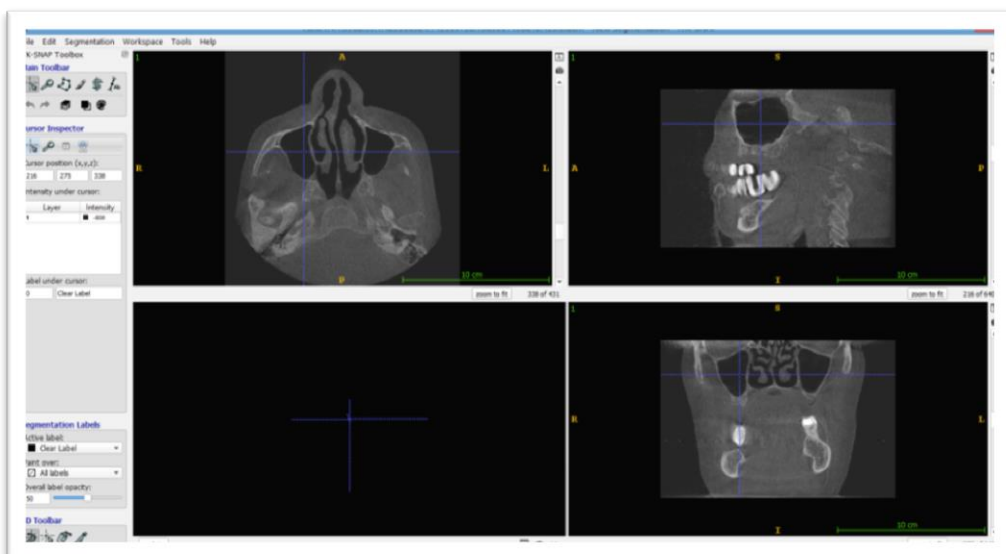


Figura 5. Cortes axial, sagital y coronal.  
Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones que hemos realizado en el presente estudio se dividen en mediciones lineales y mediciones volumétricas, que detallamos a continuación.

#### 4.2.3.1 Mediciones lineales

Este grupo está formado por:

- Mediciones de la cresta ósea remanente. Medimos la altura y la anchura de la misma.
- Mediciones de los senos maxilares. Medimos la altura, anchura y longitud de los mismos, así como la distancia máxima entre ambos y la distancia entre los agujeros infraorbitarios.

Para poder efectuar las mediciones lineales, vamos a la casilla “Line and Ruler Mode”, que nos dota de una regla que permite medir distancias entre puntos en milímetros (Figura 6).



Figura 6. Casilla “Line and Ruler Mode”.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3.1.1 Altura de la cresta ósea remanente

Se mide la distancia máxima existente desde la cresta ósea al seno maxilar a nivel de la región molar. Para ello empleamos las imágenes correspondientes al corte sagital (Figuras 7 y 8).

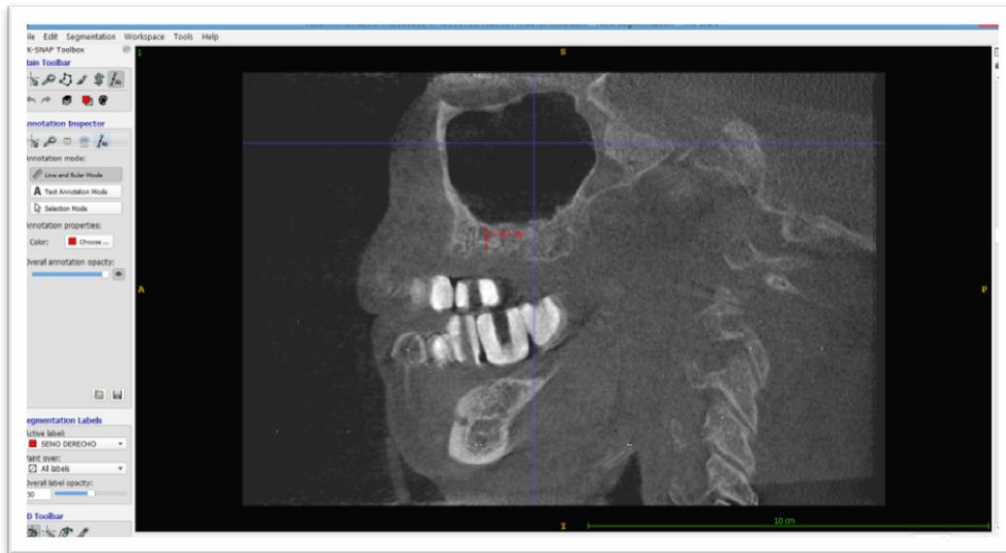


Figura 7. Cresta ósea remanente del lado derecho.  
Fuente: Elaboración propia.

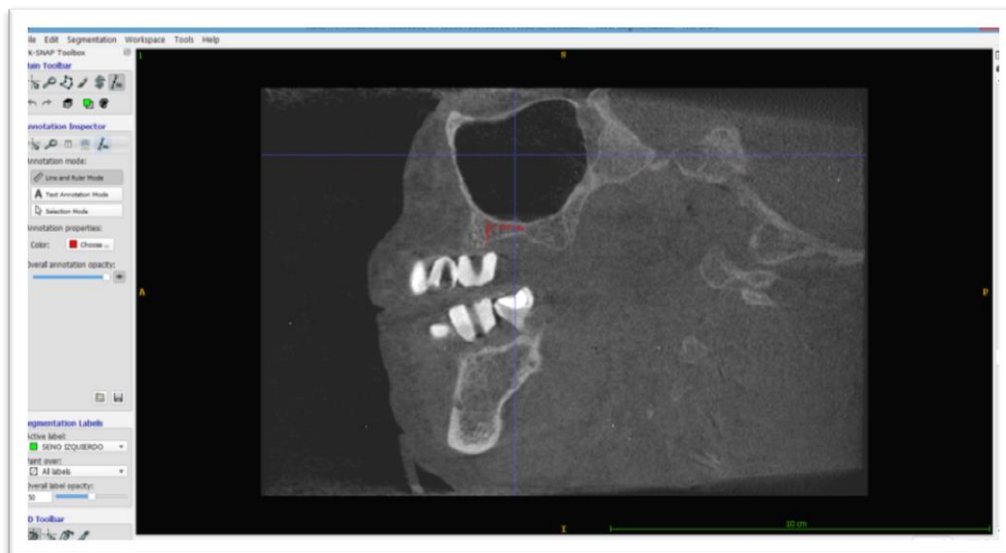


Figura 8. Cresta ósea remanente del lado izquierdo.  
Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.1.2 Anchura de la cresta ósea remanente

En los cortes coronales medimos la distancia máxima existente entre la cortical vestibular y palatina en la región molar (Figuras 9 y 10).

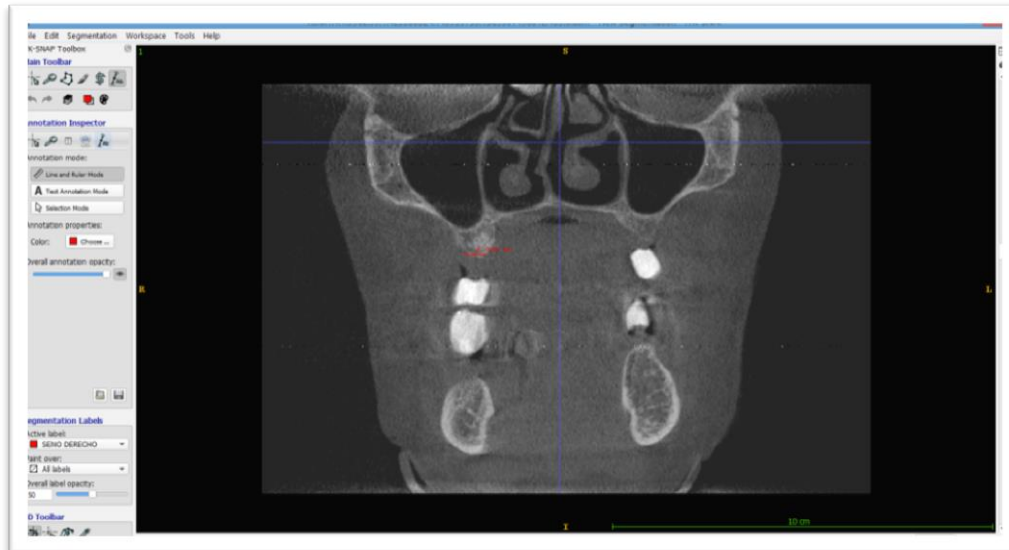


Figura 9. Anchura de la cresta ósea remanente del lado derecho.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Anchura de la cresta ósea remanente del lado izquierdo.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.1.3 Altura del seno maxilar

Es el diámetro vertical máximo del seno maxilar, que se define como la distancia más larga desde el punto más bajo de la pared inferior al punto más alto de la pared superior en la imagen coronal<sup>106,116</sup> (Figura 11).

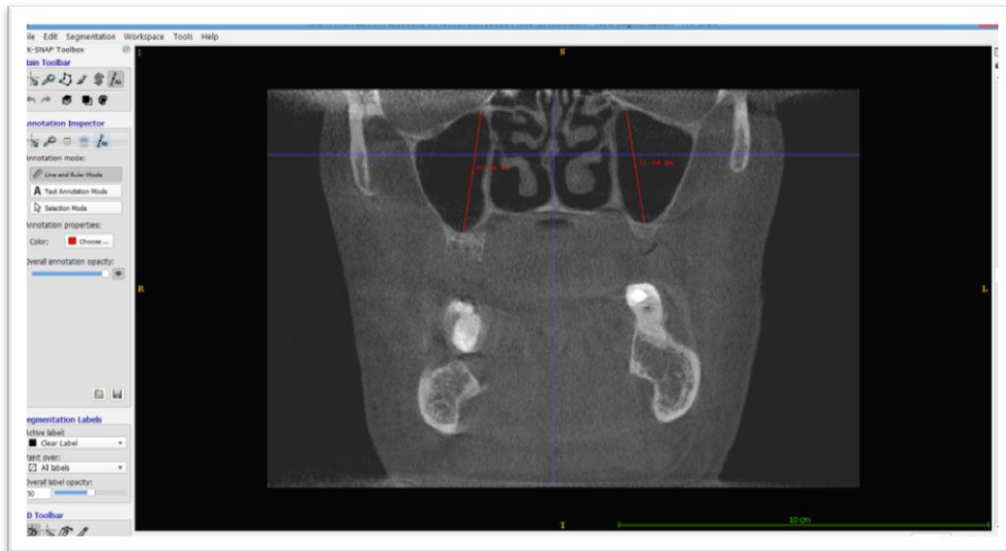


Figura 11. Altura de ambos senos maxilares.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3.1.4 Anchura del seno maxilar

Es el diámetro horizontal máximo del seno maxilar, que se define como la distancia perpendicular más larga desde el punto más medial de la pared medial al punto más lateral de la pared lateral en la imagen axial<sup>106,116</sup> (Figura 12).

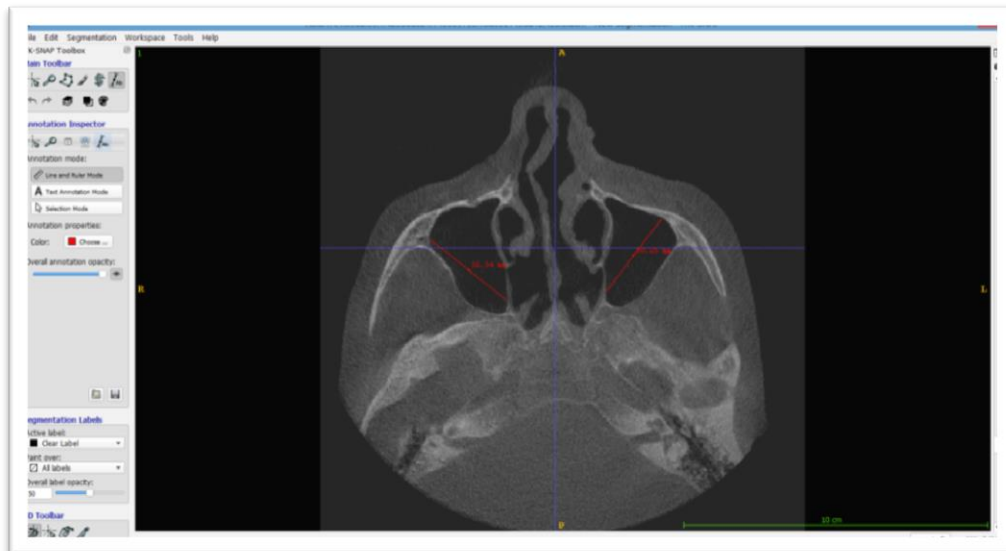


Figura 12. Anchura de ambos senos maxilares.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3.1.5 Longitud del seno maxilar

Es el diámetro anteroposterior máximo del seno maxilar, que se define como la distancia más larga desde el punto más anterior de la pared anterior al punto más posterior de la pared posterior en la imagen axial<sup>106,116</sup> (Figura 13).

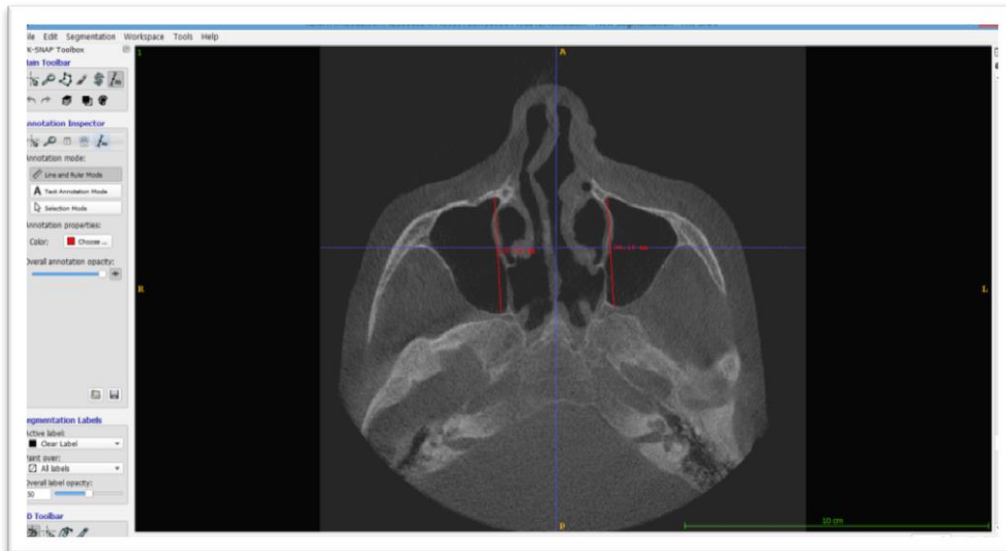


Figura 13. Longitud de ambos senos maxilares.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.1.6 Distancia máxima entre ambos senos maxilares

Es la distancia que va desde el punto más lateral de la pared lateral del seno maxilar derecho hasta el punto más lateral de la pared lateral del seno maxilar izquierdo en la imagen axial<sup>106</sup> (Figura 14).

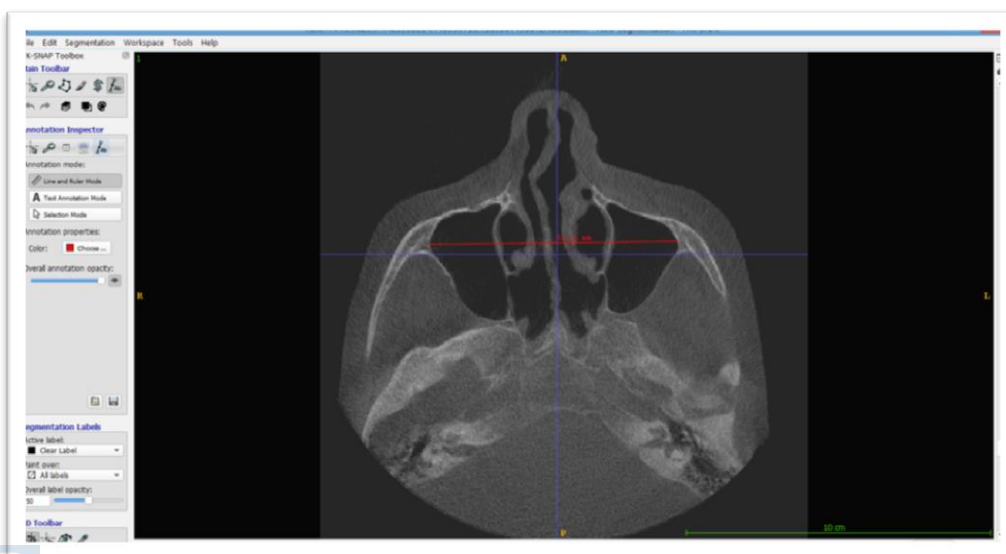


Figura 14. Distancia máxima entre ambos senos maxilares.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3.1.7 Distancia entre agujeros infraorbitarios

Es la distancia comprendida entre el punto de máxima apertura del agujero infraorbitario derecho al punto de máxima apertura del agujero infraorbitario izquierdo en la imagen axial<sup>106</sup> (Figura 15).

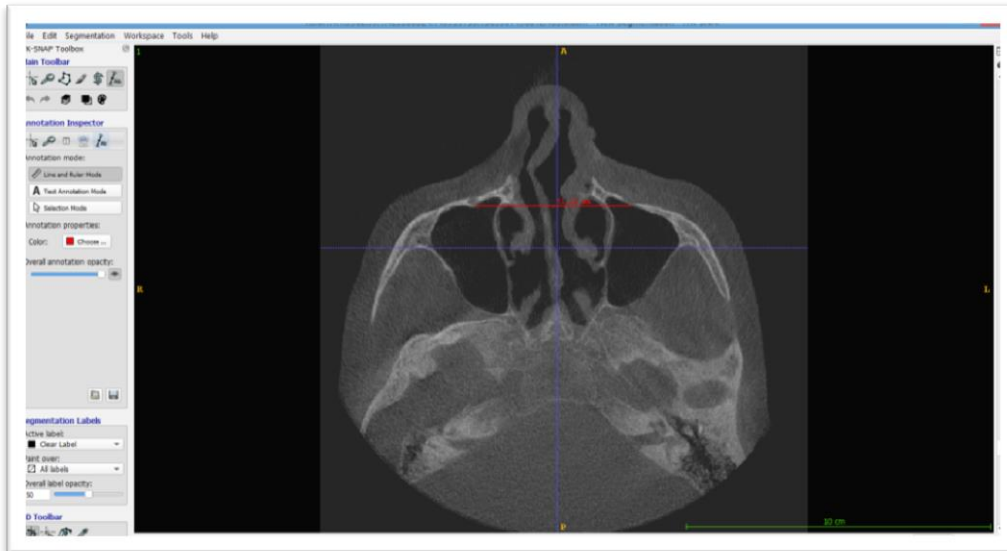


Figura 15. Distancia entre los agujeros infraorbitarios.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3.2 Mediciones volumétricas

##### 4.2.3.2.1 Cálculo del volumen total del seno maxilar<sup>35,107</sup>

Una vez que importamos las imágenes en formato DICOM, realizamos la selección de aquellas que vamos a analizar. Tras su apertura, elegimos los cortes en los que se apreciase adecuadamente la región anatómica deseada, siendo en este caso que mostramos como ejemplo, el seno maxilar derecho. A continuación utilizamos la herramienta “Snake ROI Tool”, que nos permite delimitar la región de interés para la segmentación de contorno activa semiautomática, e iniciar el asistente de segmentación semiautomático (Figura 16). En este caso, los límites de la misma fueron las paredes del seno maxilar derecho (anterior, posterior, lateral, medial, superior e inferior)<sup>106</sup> (Figura 17). Posteriormente realizamos el mismo proceso para el análisis del seno maxilar izquierdo.

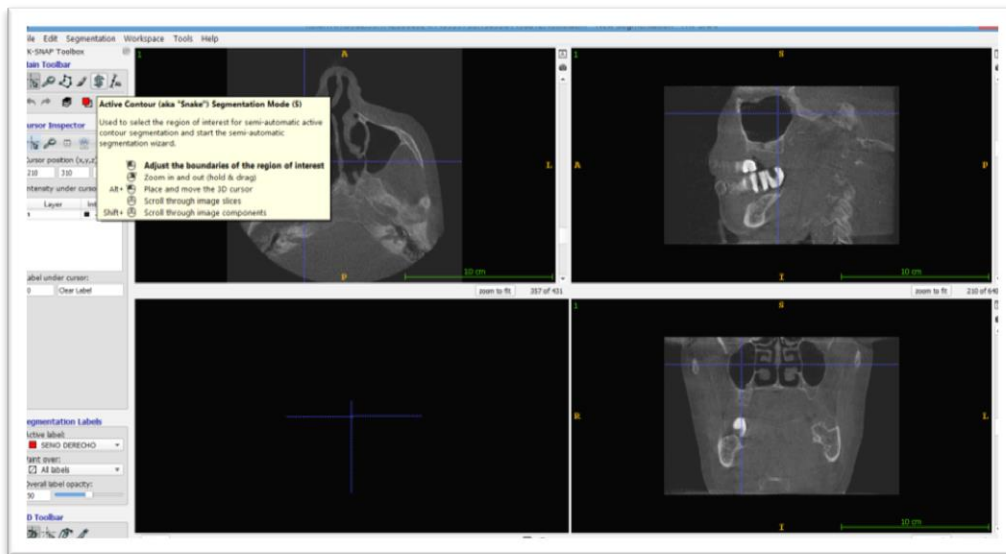


Figura 16. Casilla correspondiente a la herramienta “Snake ROI Tool”.  
Fuente: Elaboración propia.

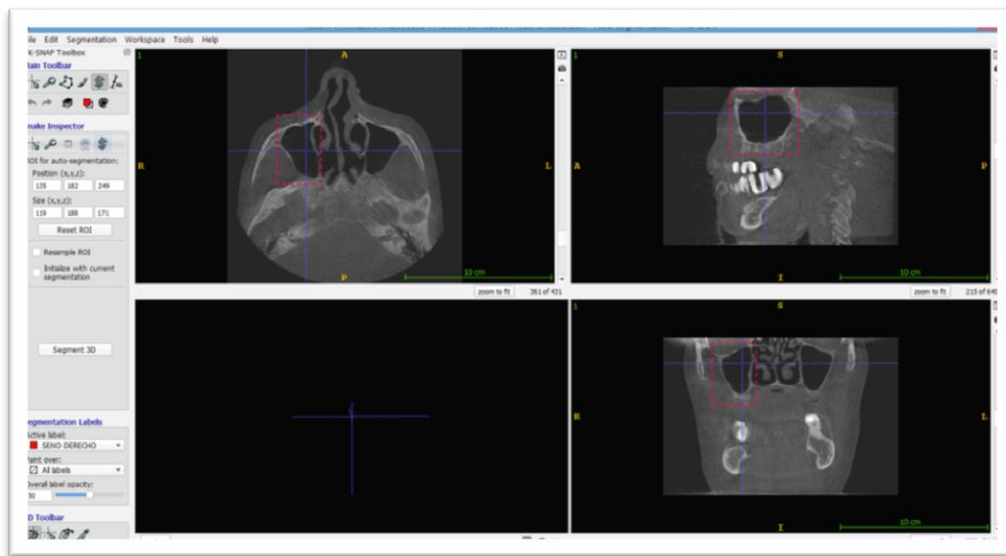


Figura 17. Selección de la región de interés.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, vamos a la casilla “Segmentation”, y entre las diferentes acciones que nos ofrece, seleccionaremos la opción “Label Editor” (Figura 18).

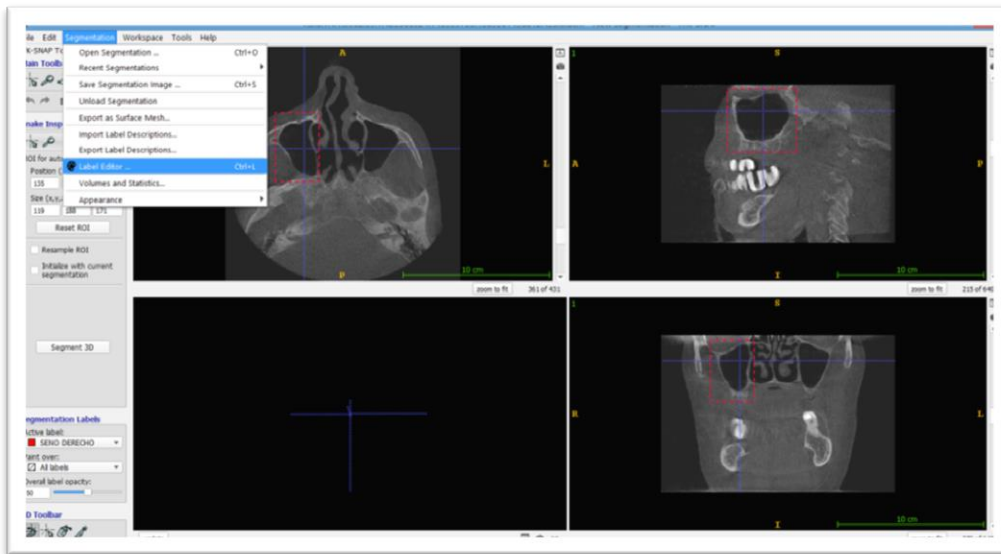


Figura 18. Casilla correspondiente al editor de etiquetas (“Label Editor”).

Fuente: Elaboración propia.

En este momento, el programa nos da la posibilidad de etiquetar cada zona que queramos segmentar y asignarle un color determinado. En nuestro estudio, seleccionamos el color rojo para el seno maxilar derecho y el color verde para el seno maxilar izquierdo (Figura 19).

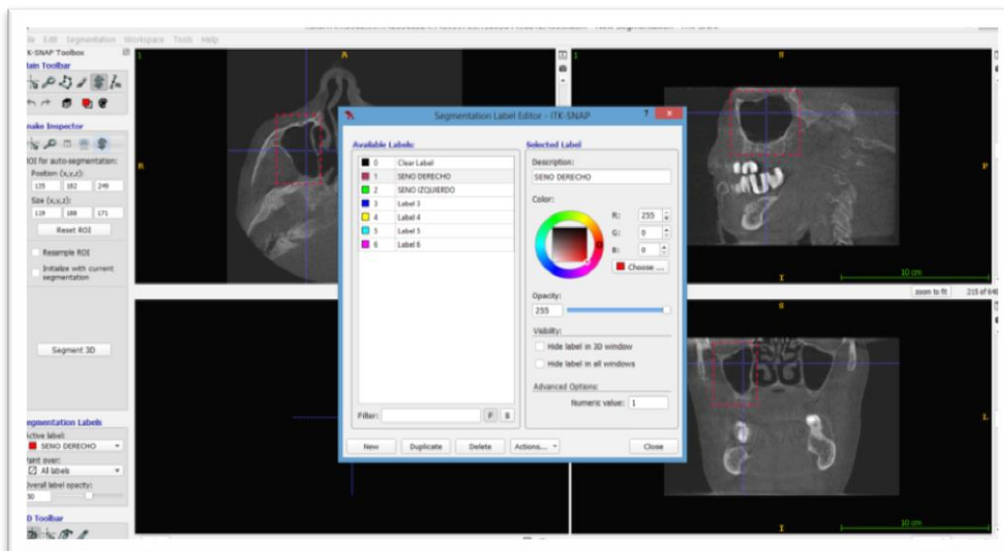


Figura 19. Selección de los diferentes colores asignados a cada seno maxilar.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el etiquetado de manera correcta, iremos a la casilla “Segment 3D” para que se inicie el proceso de segmentación semiautomático.

Aparecerán las imágenes correspondientes a las áreas anatómicas que se encuentran dentro de los límites previamente establecidos (Figura 20).

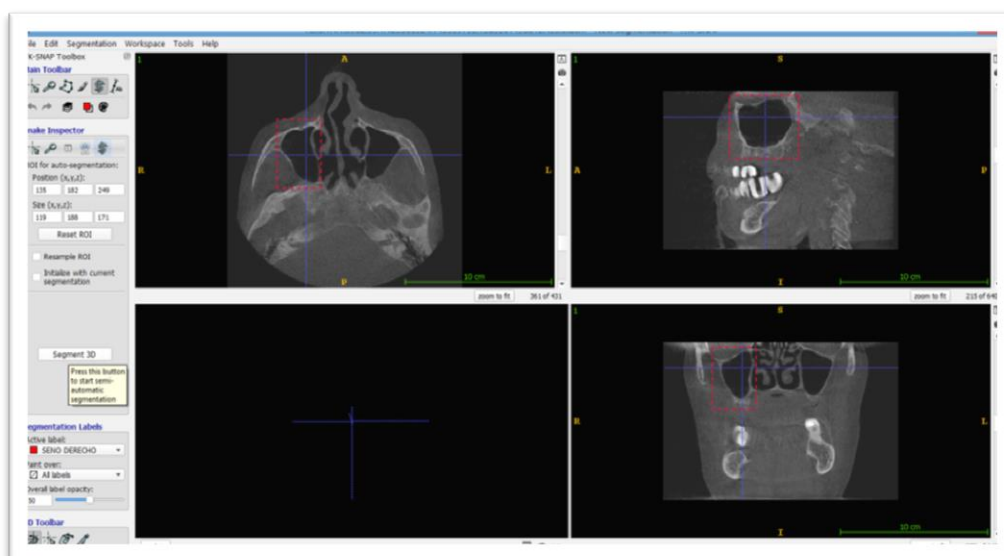


Figura 20. Casilla “Segment 3D” en el margen izquierdo del monitor.  
Fuente: Elaboración propia

Procederemos a ajustar los valores “threshold” (límites/umbrales) superior e inferior, y los de la “smoothness” (suavidad). En nuestro estudio, trabajamos con un límite threshold inferior con unos valores en torno a -1000, y un límite threshold superior con unos valores en torno a -600. Para el parámetro “smoothness”, el valor asignado fue de 3 (Figura 21).

De todos modos, estos valores deberán ser ajustados de manera individual en cada procedimiento de segmentación, hasta que obtengamos una imagen nítida de la región que deseemos segmentar. En el momento en que estemos conformes con la imagen obtenida, debemos ir a la casilla “Next”.



adecuadamente, procedemos a su finalización pulsando la casilla “Finish”. En este momento podremos visualizar la región seleccionada segmentada, siendo en este caso el seno maxilar derecho, en los cortes axial, sagital y coronal. Para que se cargue la imagen en las tres dimensiones de la región segmentada, debemos pulsar la casilla “Update” y aparecerá en la ventana inferior izquierda del monitor (Figura 23).

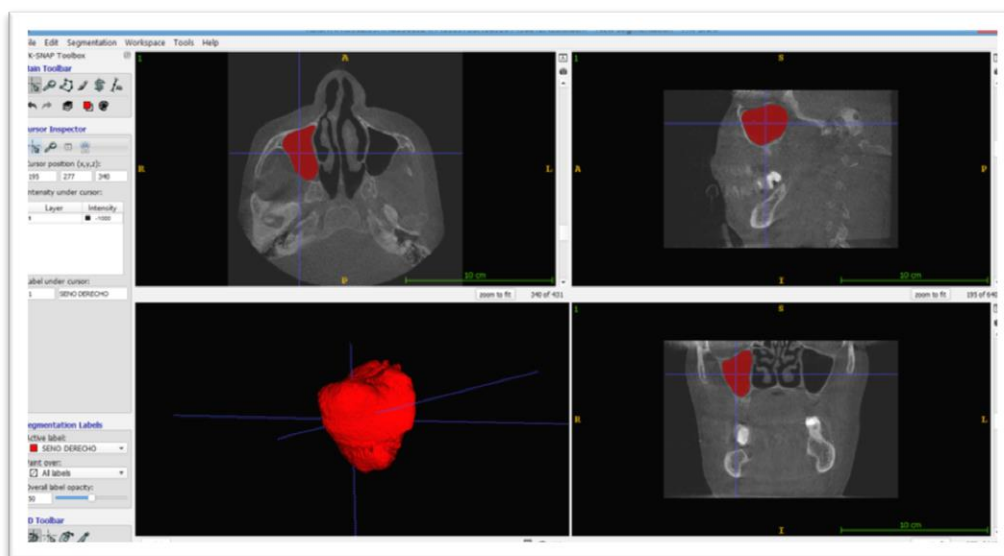


Figura 23. Imagen correspondiente al seno maxilar derecho segmentado.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación repetiremos el proceso para realizar la segmentación del seno maxilar izquierdo (Figuras 24, 25, 26).

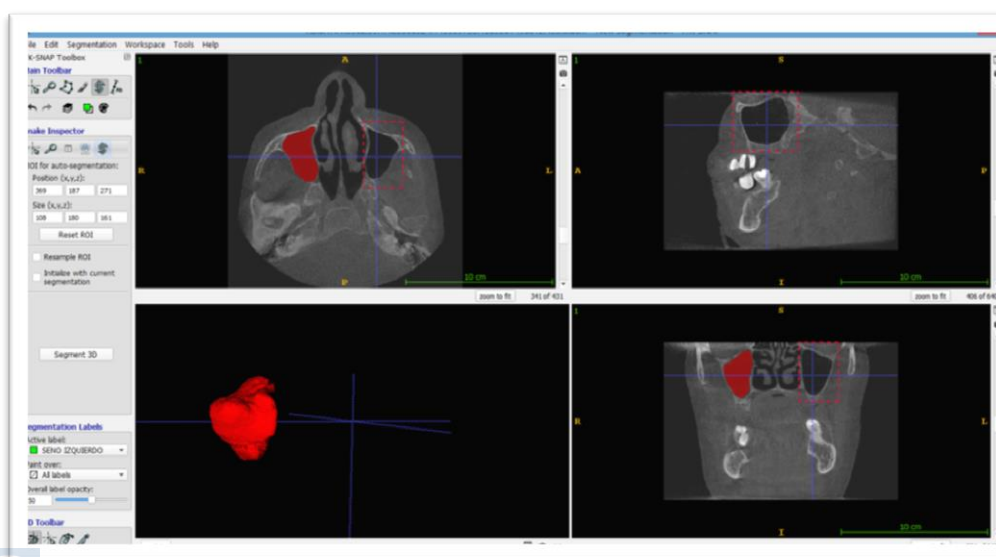


Figura 24. Selección de la región de interés (ROI).  
Fuente: Elaboración propia.

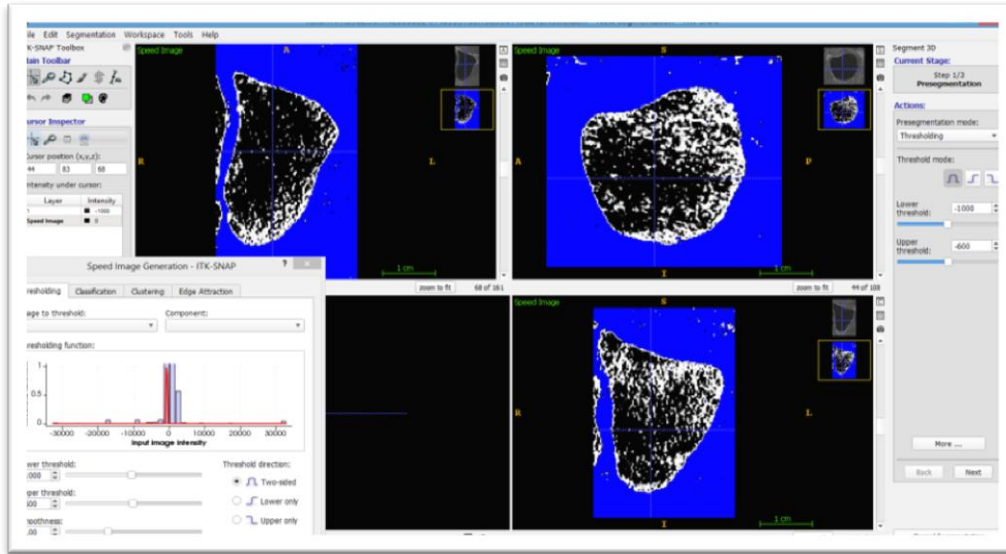


Figura 25. Selección de los parámetros adecuados para realizar el proceso de segmentación.

Fuente: Elaboración propia.

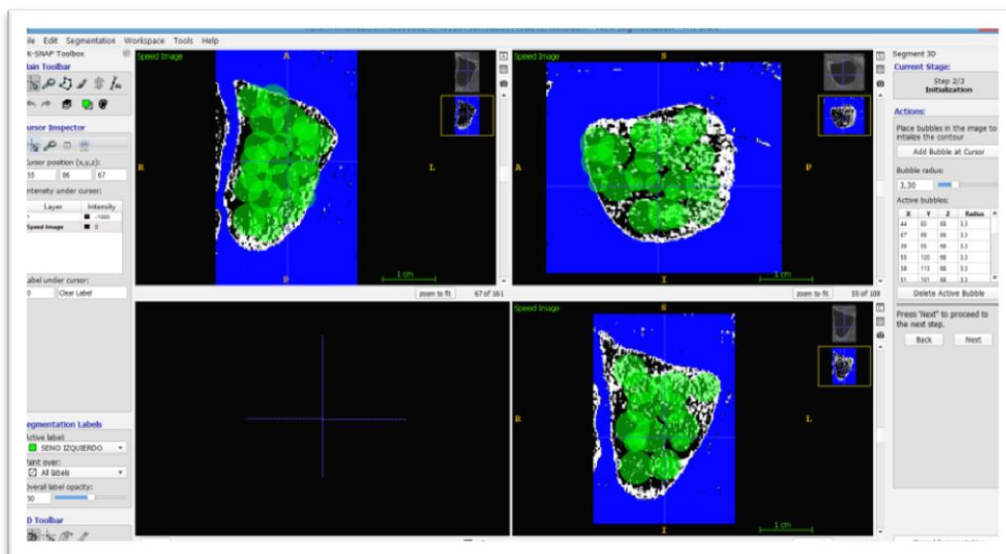


Figura 26. Proceso de llenado mediante burbujas.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el proceso, podremos observar las imágenes de ambos senos maxilares segmentados (Figura 27).

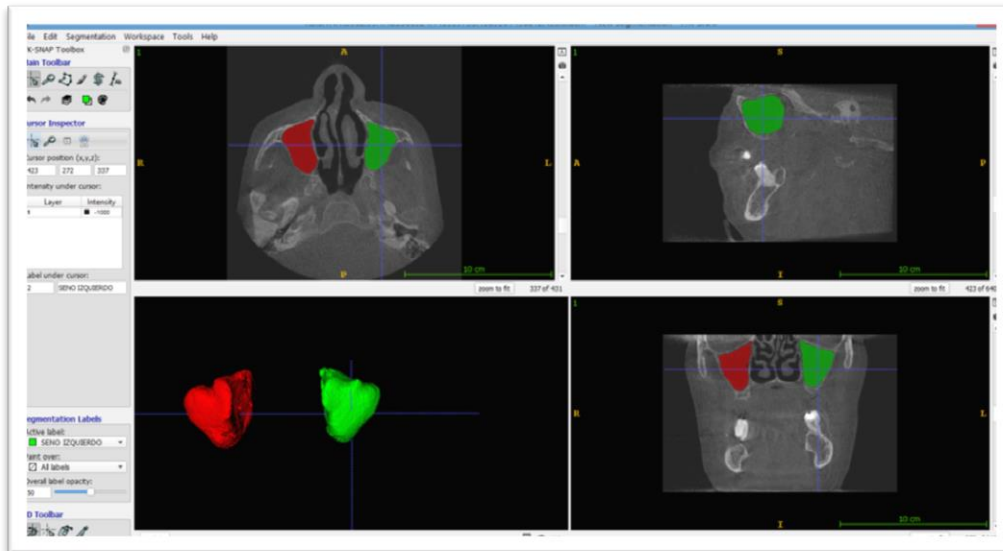


Figura 27. Imagen correspondiente a ambos senos maxilares segmentados.  
Fuente: Elaboración propia.

Es necesario destacar que este software nos ofrece la posibilidad de visualizar en las tres dimensiones del espacio los dos senos maxilares de manera simultánea, permitiéndonos además su desplazamiento en los distintos planos anatómicos.

Seguidamente, accederemos al apartado “Volume and Statistics” y obtendremos el volumen de ambos senos maxilares en milímetros cúbicos (Figura 28).

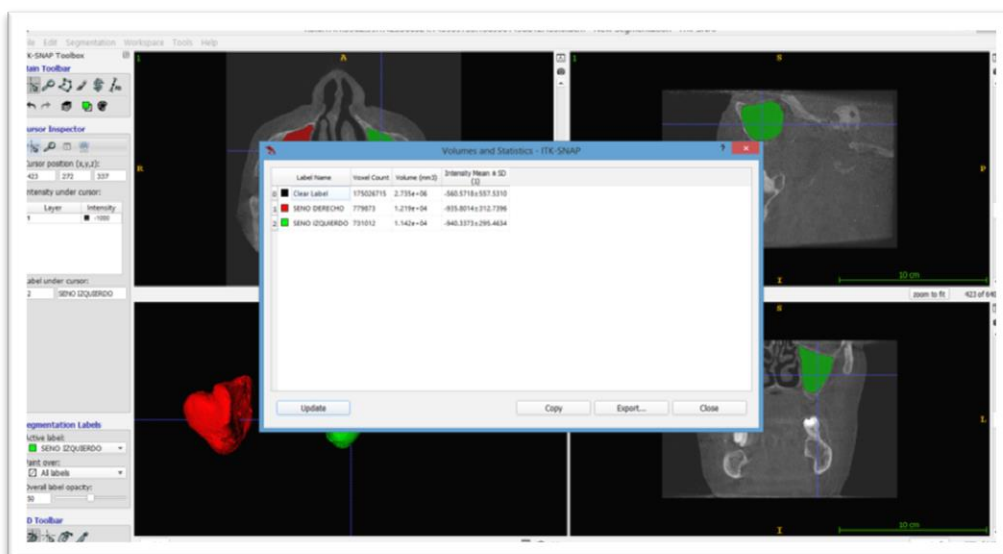


Figura 28. Volumen de ambos senos maxilares expresados en mm<sup>3</sup>.  
Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar con el procedimiento, guardaremos la imagen de la segmentación obtenida en el espacio de trabajo correspondiente.

#### 4.2.3.2.2 Cálculo del volumen de injerto<sup>35</sup>

Empleamos el software ITK-SNAP 3.6, siguiendo los mismos pasos que realizamos para el cálculo del volumen total del seno maxilar. Este programa nos ofrece la posibilidad de lograr una imagen en 3D del injerto que debemos emplear para la posterior inserción de implantes de 12 mm de longitud, así como el cálculo de su volumen expresado en mm<sup>3</sup>, lo que va a suponer una gran ayuda en la planificación de la cantidad de material de injerto que será preciso utilizar en cada caso.

Para justificar la longitud de los implantes que hemos seleccionado en nuestro estudio, hemos tenido en consideración que en la actualidad, en la rehabilitación implantológica de la región posterior del maxilar superior, en aquellos casos en que la cresta ósea remanente presente una altura de aproximadamente 8 mm, se puede optar por el empleo de implantes cortos (aquellos que cuenten con una longitud igual o menor de 8 mm) sin tener que recurrir a la realización de una cirugía de elevación de seno maxilar<sup>54,55</sup>.

Por otra parte, hemos observado que los implantes de 12 mm de longitud son los que más frecuentemente se insertan en los pacientes que han sido sometidos previamente a una cirugía de elevación de seno maxilar.

Debemos resaltar que el software que hemos utilizado nos ofrece la posibilidad de delimitar la altura que nos interese en cada caso, pudiendo hacer el cálculo del volumen de injerto que vamos a necesitar en mm<sup>3</sup>.

Una vez tengamos los cortes seleccionados, empezamos a trabajar en el corte sagital, delimitando una altura de 13 mm desde el reborde alveolar residual. Para poder realizarlo, debemos ir al apartado “Line and Ruler Mode”, que nos proporciona una regla con la que podremos marcar la altura seleccionada en mm.

En este caso, aunque hemos planificado la rehabilitación posterior mediante la inserción de implantes de 12 mm de longitud, le sumamos un milímetro de profundidad a la longitud del implante, para así poder contar con un margen de seguridad y evitar en lo posible la entrada en el seno y la consiguiente perforación de la membrana de Schneider.

A continuación, empleamos la herramienta “Snake ROI Tool”, que nos va a permitir realizar la selección de la región de interés para la segmentación de contorno activa semiautomática, e iniciar el asistente de segmentación semiautomático. En este caso, el límite superior fue la altura de 13 mm que habíamos marcado previamente (Figura 29).

Una vez delimitada, procedimos a realizar la segmentación de esta zona siguiendo la misma secuencia descrita anteriormente.



**Figura 29.** Selección de la región de interés (ROI) en el seno maxilar derecho. La altura seleccionada fue de 13 mm desde la cresta ósea.

Fuente: Elaboración propia.

Iniciamos el proceso de segmentación, configurando los valores “threshold” (límites/umbrales) superior e inferior, y los de la “smoothness” (suavidad). Al igual que en el cálculo del volumen total, trabajamos con un límite threshold inferior con unos valores en torno a -1000, y un límite threshold superior con unos valores en torno a -600. Para el parámetro “smoothness” el valor asignado fue de 3 (Figura 30).

A continuación, procedemos a añadir burbujas en el espacio correspondiente al injerto seleccionado, pudiendo ajustar el tamaño de las mismas hasta completar el relleno (Figura 31).

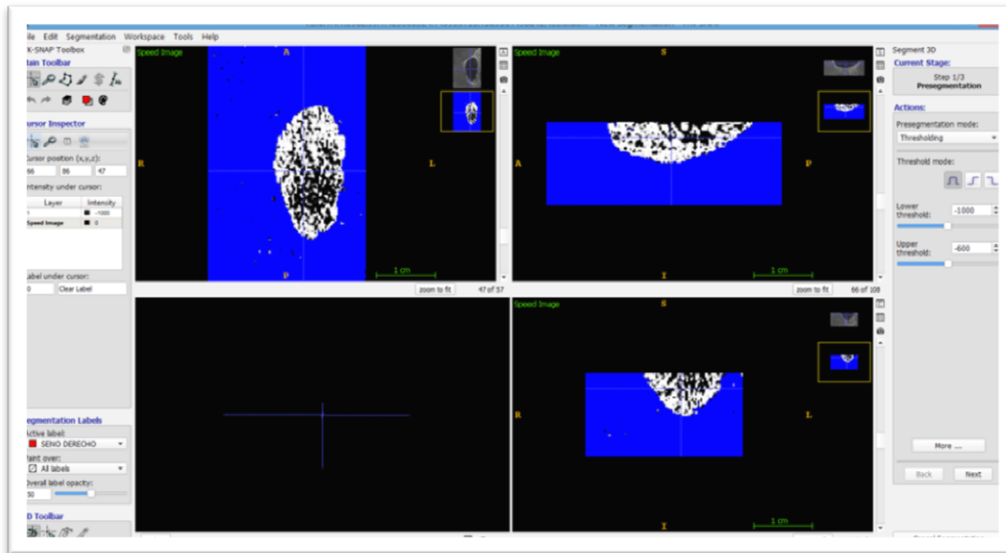


Figura 30. Parámetros seleccionados para realizar el proceso de segmentación.  
Fuente: Elaboración propia.

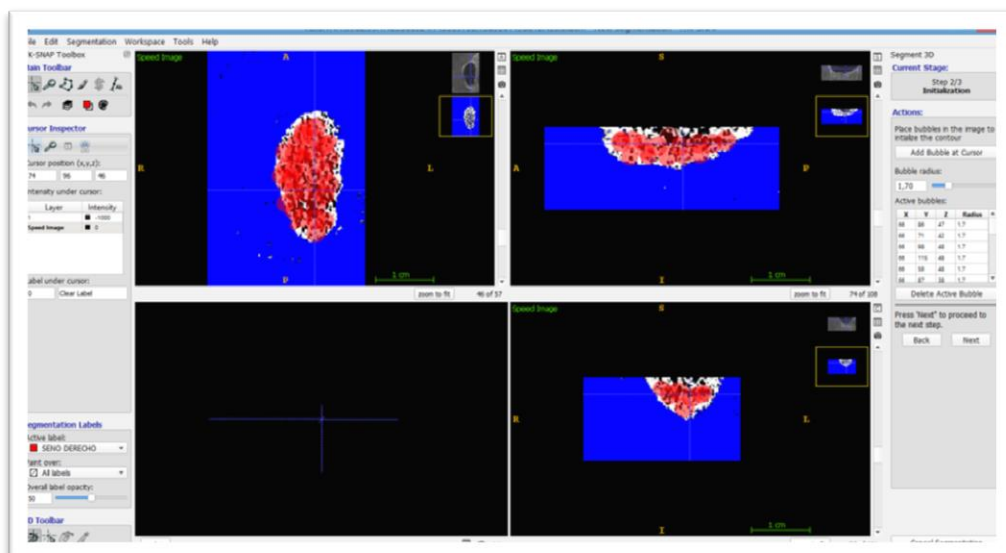


Figura 31. Proceso de llenado mediante burbujas.  
Fuente: Elaboración propia.

correspondiente a la región del seno maxilar que será preciso injertar para poder colocar implantes de 12 mm de longitud (Figura 32).

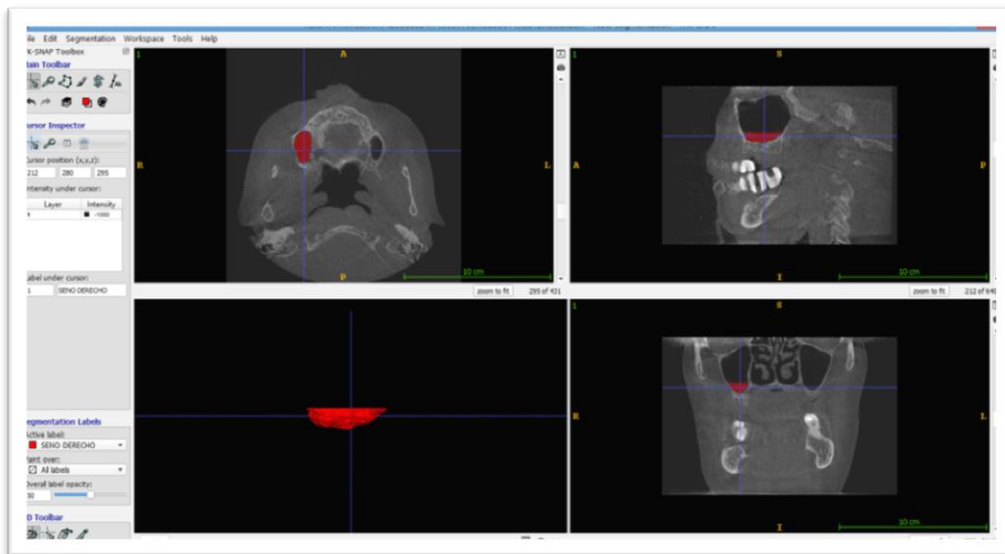


Figura 32. Imagen correspondiente al injerto calculado.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, marcamos una altura de 13 mm en el corte sagital del seno maxilar izquierdo, repitiendo el proceso que ya hemos descrito (Figuras 33. 34. 35).

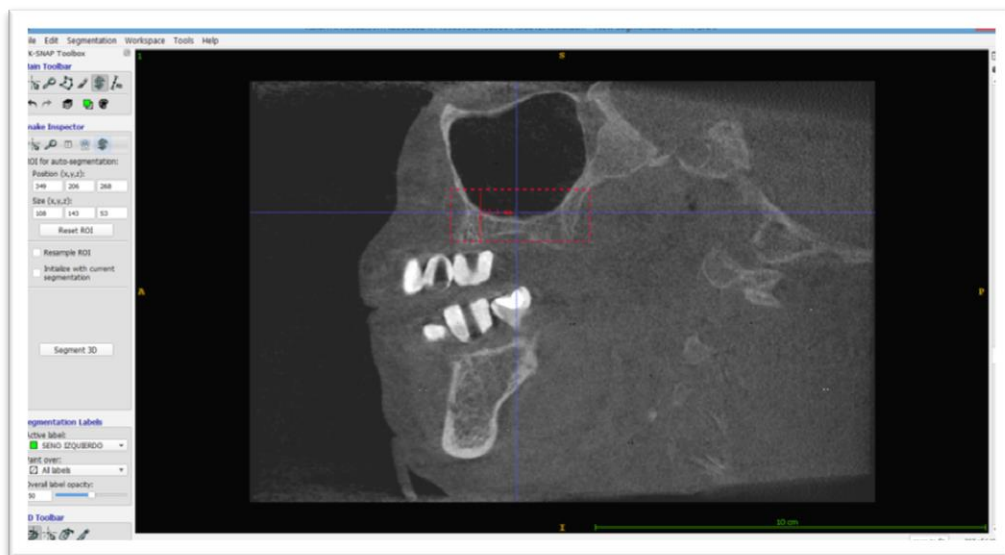


Figura 33. Selección de la región de interés (ROI) en el seno maxilar izquierdo. La altura seleccionada fue de 13 mm desde la cresta ósea.  
Fuente: Elaboración propia.

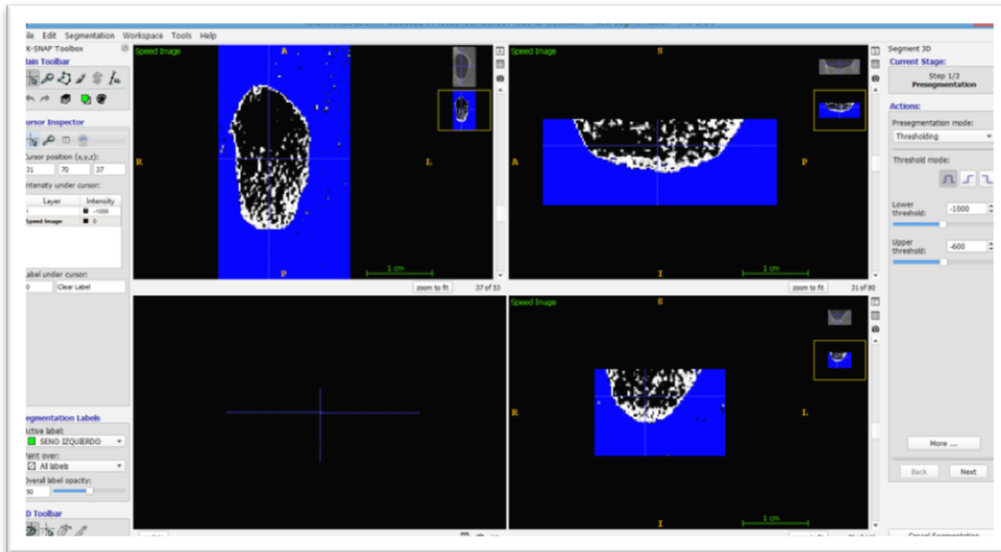


Figura 34. Parámetros seleccionados para realizar el proceso de segmentación.  
Fuente: Elaboración propia.

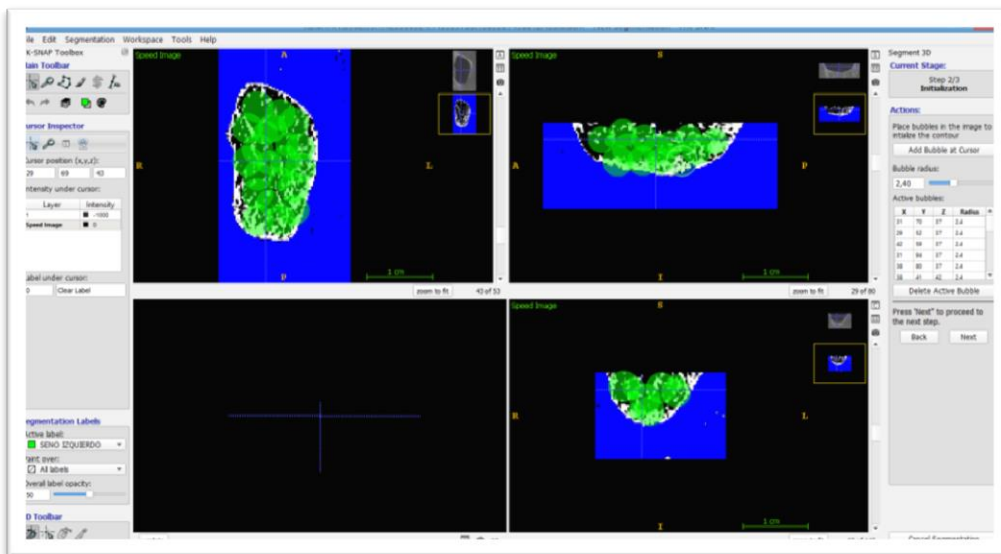


Figura 35. Proceso de llenado mediante burbujas.  
Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizado el proceso, podremos observar las imágenes de los volúmenes de los injertos necesarios en ambos senos maxilares para poder insertar implantes de una longitud de 12 mm en estas regiones (Figura 36).

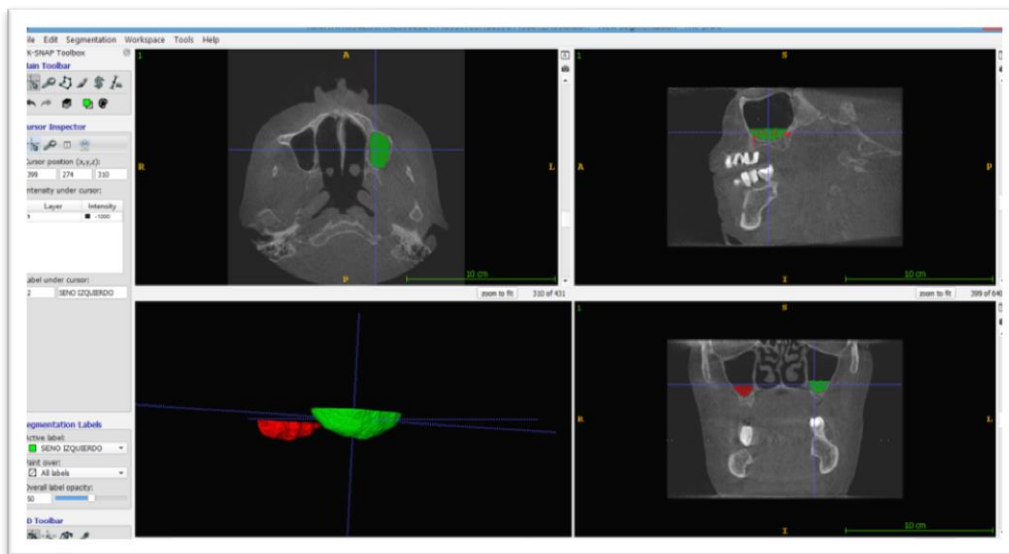


Figura 36. Imagen correspondiente a los injertos calculados en ambos senos maxilares.  
Fuente: Elaboración propia.

ITK-SNAP nos ofrece la posibilidad de visualizar en tres dimensiones los dos injertos calculados a la vez, permitiéndonos además su desplazamiento en los distintos planos del espacio.

Al igual que en el caso del volumen total, obtendremos el volumen de los injertos en milímetros cúbicos (Figura 37).

Por último, procederemos a guardar el trabajo de segmentación realizado.

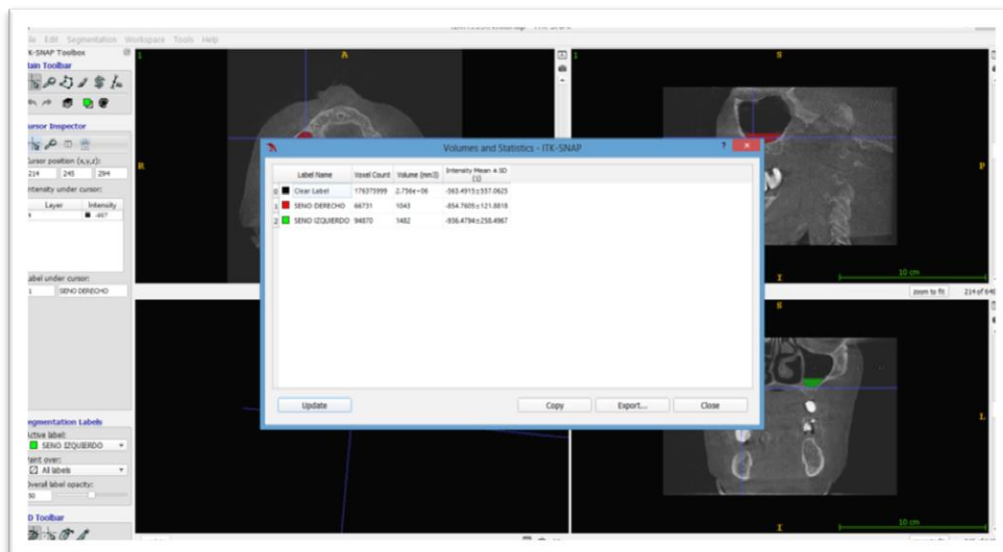


Figura 37. Volumen de ambos injertos calculados en ambos senos maxilares expresados en mm<sup>3</sup>.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 Revisión de datos

Todos los datos obtenidos tras la realización de las diferentes mediciones que conforman el presente trabajo de investigación fueron registrados debidamente en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2010.

### 4.3 CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 4.3.1 Tamaño muestral

El cálculo del tamaño muestral fue calculado mediante el empleo de Epidat<sup>117</sup>, que es un programa de libre distribución desarrollado por instituciones públicas y dirigido a epidemiólogos y otros profesionales de la salud para el manejo de datos tabulados. Se realizó para la comparación de medias de dos grupos independientes, en este caso el grupo de los varones frente al grupo de las mujeres.

#### 4.3.2 Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado mediante el empleo del software R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org), versión 4.1.0)<sup>118</sup>.

Se utilizaron estadísticas descriptivas, empleando tablas y gráficos. Para determinar la normalidad en la distribución de las frecuencias se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. Para comparar la media de las variables cuantitativas se utilizó la prueba t de Student como prueba paramétrica y las pruebas de Wilcoxon Mann-Whitney y de Kruskal-Wallis como pruebas no paramétricas. El estudio de la correlación se realizó mediante los coeficientes de correlación de Pearson y de Spearman, pruebas paramétrica y no paramétrica, respectivamente.

La significación estadística se estableció para p-valor <0,05.



## 5 RESULTADOS

Fueron incluidos un total de 68 pacientes, 26 varones y 42 mujeres, con edades comprendidas entre los 40 y 76 años, con una media de 60 años. Se estudiaron un total de 129 senos maxilares. El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el software R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org), versión 4.1.0)<sup>118</sup>. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

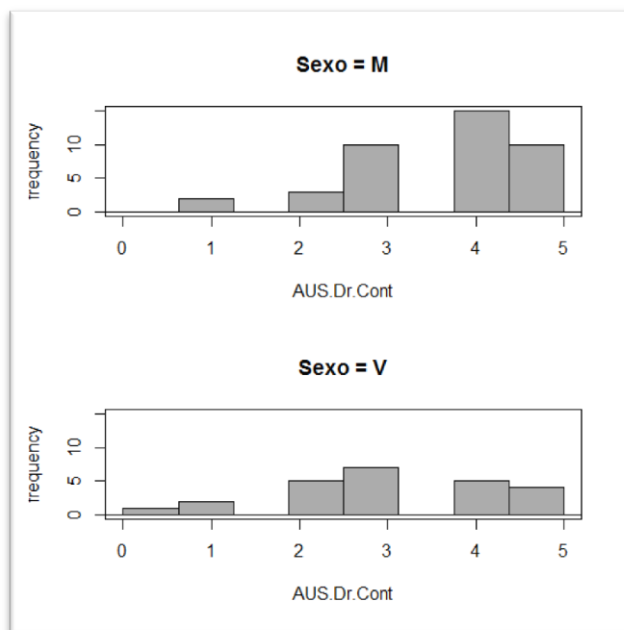
### 5.1 PRESENCIA/AUSENCIAS DENTARIAS

#### 5.1.1 Número de dientes ausentes en el lado derecho

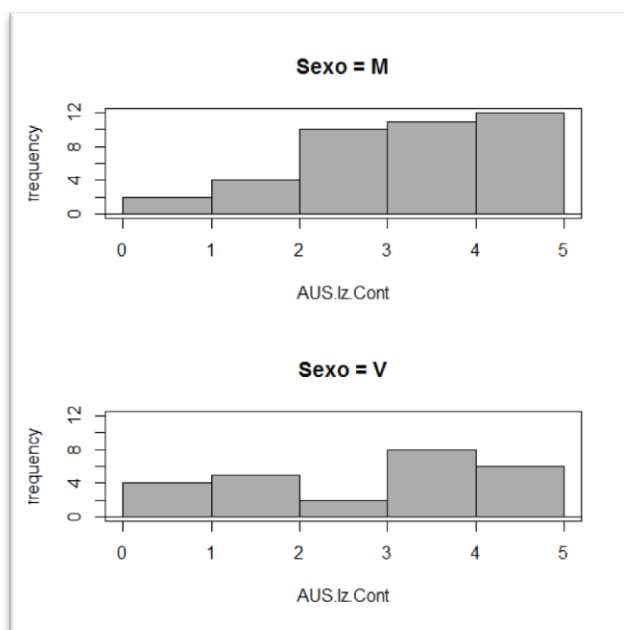
El valor mínimo fue de 0, el valor máximo de 5, y la media 3.453. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 1, el valor máximo fue de 5, y el valor medio fue 3.700. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 0, el valor máximo fue de 5, y el valor medio fue de 3.041 (Gráfico 1).

#### 5.1.2 Número de dientes ausentes en el lado izquierdo

El valor mínimo fue de 0, el valor máximo de 5, y la media 3.5. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 0, el valor máximo fue de 5, y el valor medio fue de 3.666. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 0, el valor máximo fue de 5, y el valor medio fue de 3.240 (Gráfico 2).



**Gráfico 1. Número de dientes ausentes en mujeres y varones en el lado derecho.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 2. Número de dientes ausentes en mujeres y varones en el lado izquierdo.**  
Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 MEDICIONES LINEALES

### 5.2.1 Altura de la cresta ósea remanente en el lado derecho

El valor mínimo fue de 1.158 mm, el valor máximo fue de 12.460 mm, y la media 5.333 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 1.158 mm, el valor máximo fue de 9.088 mm, y el valor medio fue de 5.170 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 1.887 mm, el valor máximo fue de 12.460 mm, y el valor medio fue de 5.613 mm (Gráfico 3).

### 5.2.2 Altura de la cresta ósea remanente en el lado izquierdo

El valor mínimo fue de 1.143 mm, el valor máximo fue de 11.630 mm, y la media 5.493 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 1.143 mm, el valor máximo fue de 11.08 mm, y el valor medio fue de 5.492 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 2.455 mm, el valor máximo fue de 11.63 mm, y el valor medio fue de 5.492 mm (Gráfico 4).

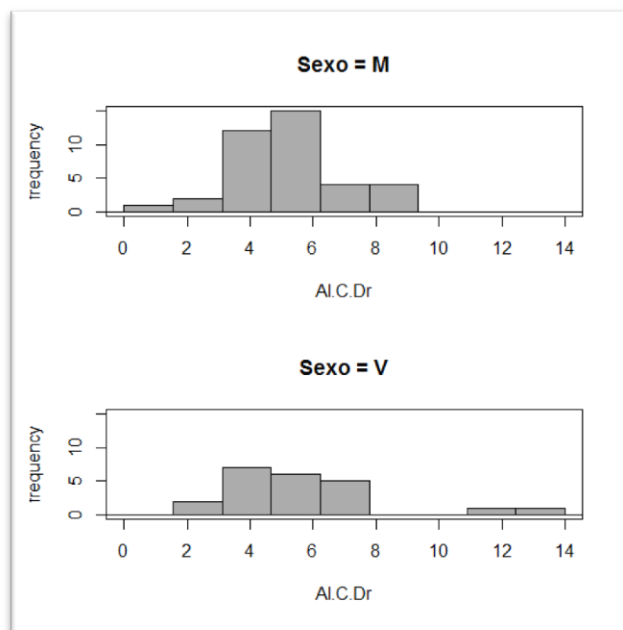


Gráfico 3. Altura de la cresta ósea remanente del lado derecho en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

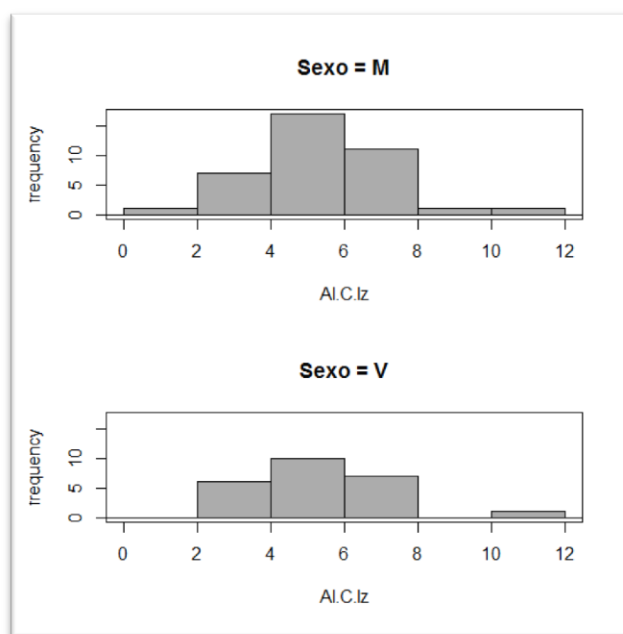


Gráfico 4. Altura de la cresta ósea remanente del lado izquierdo en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3 Anchura de la cresta ósea remanente en el lado derecho

El valor mínimo fue de 3.745 mm, el valor máximo fue de 12.220 mm, y la media fue 6.210 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 3.745 mm, el valor máximo fue de 8.387 mm, y el valor medio fue de 5.765 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 3.852 mm, el valor máximo fue de 12.220 mm, y el valor medio fue de 6.977 mm (Gráfico5).

### 5.2.4 Anchura de la cresta ósea remanente en el lado izquierdo

El valor mínimo fue de 3.470 mm, el valor máximo fue de 10.950 mm, y la media fue 6.293 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 3.470 mm, el valor máximo fue de 8.794 mm, y el valor medio fue de 5.937 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 4.104 mm, el valor máximo fue de 10.950 mm, y el valor medio fue de 6.855 mm (Gráfico 6).

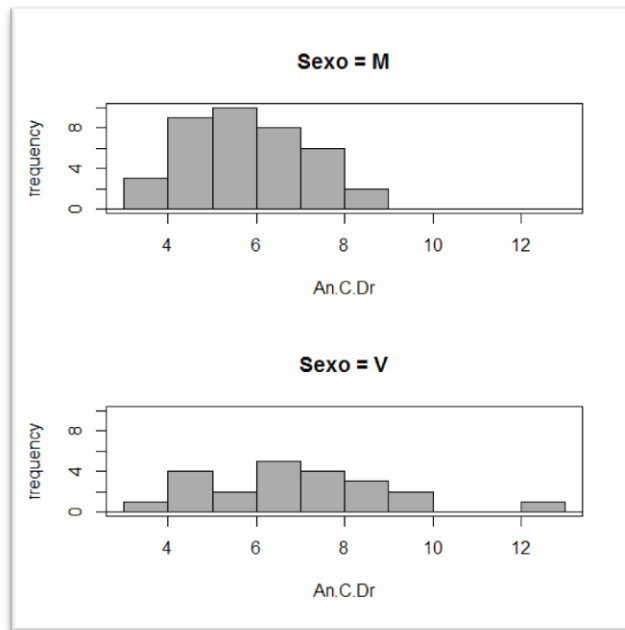


Gráfico 5. Anchura de la cresta ósea remanente del lado derecho en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

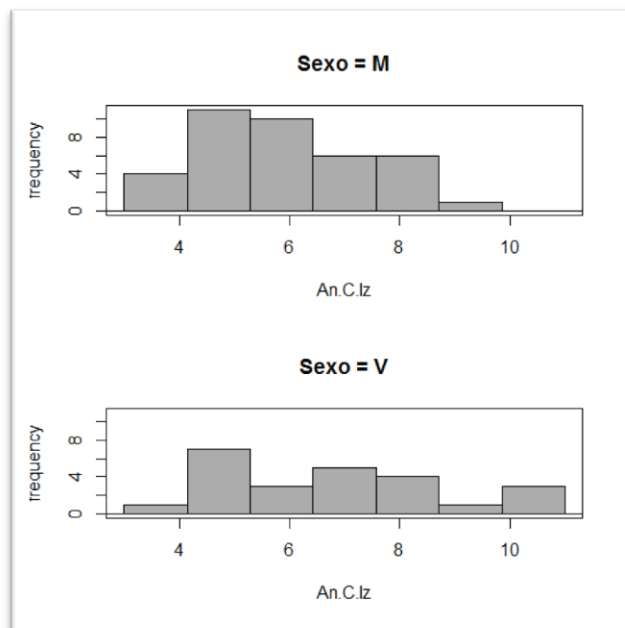


Gráfico 6. Anchura de la cresta ósea remanente del lado izquierdo en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.5 Altura seno maxilar derecho

El valor mínimo fue de 22.82 mm, el valor máximo fue de 46.02 mm, y la media 34.65 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 22.82 mm, el valor máximo fue de 41.03 mm, y el valor medio fue de 33.307 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 23.18 mm, el valor máximo fue de 46.02 mm, y el valor medio fue de 36.881 mm (Gráfico 7).

### 5.2.6 Altura seno maxilar izquierdo

El valor mínimo fue de 23.26 mm, el valor máximo fue de 50.20 mm, y la media 35.21 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 23.26 mm, el valor máximo fue de 39.65 mm, y el valor medio fue de 33.505 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 25.33 mm, el valor máximo fue de 50.20 mm, y el valor medio fue de 37.881 mm (Gráfico 8).

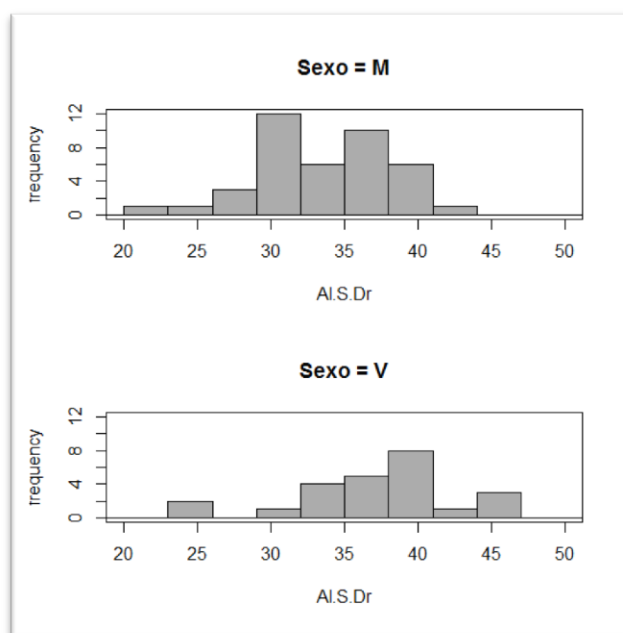
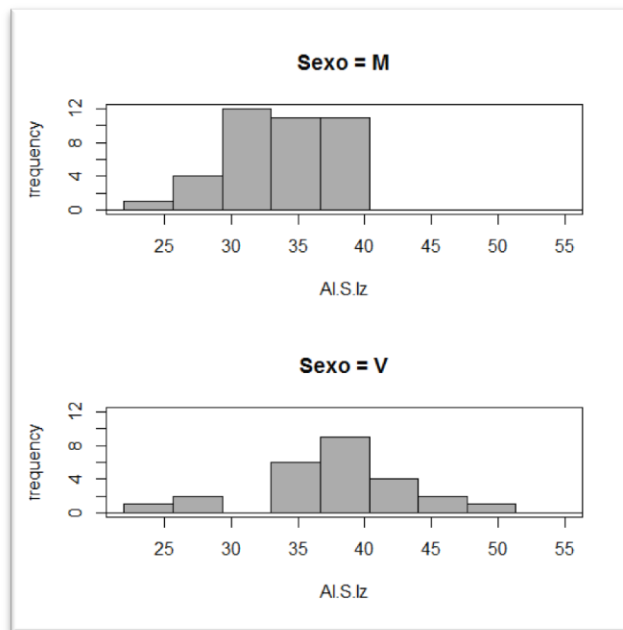


Gráfico 7. Altura del seno maxilar derecho en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.



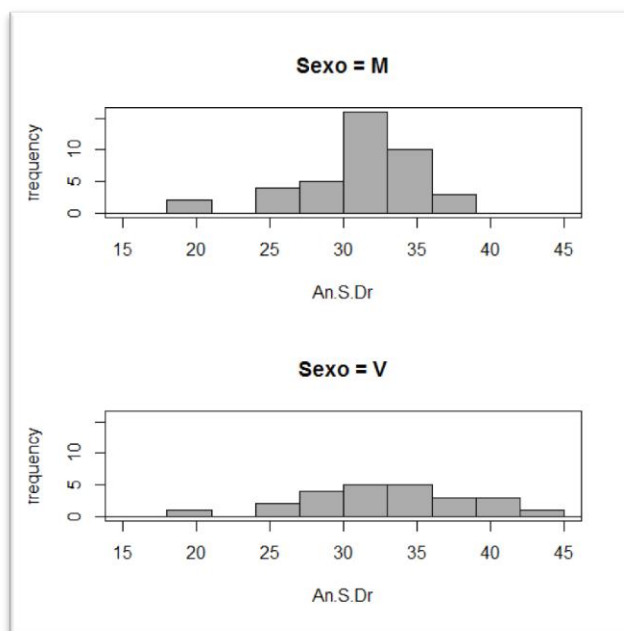
**Gráfico 8. Altura del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.7 Anchura seno maxilar derecho

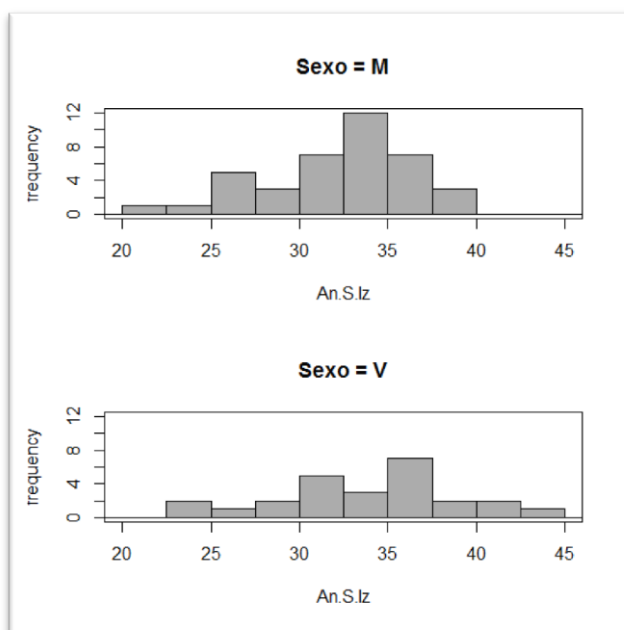
El valor mínimo fue de 18.33 mm, el valor máximo fue de 42.46 mm, y la media 31.69 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 18.33 mm, el valor máximo fue de 36.33mm, y el valor medio fue de 31.076 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 18.59 mm, el valor máximo fue de 42.46 mm, y el valor medio fue de 32.702 mm (Gráfico 9).

### 5.2.8 Anchura seno maxilar izquierdo

El valor mínimo fue de 21.74 mm, el valor máximo fue de 43.28 mm, y la media 32.69 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 21.74 mm, el valor máximo fue de 39.54 mm, y el valor medio fue de 32.068 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 22.77 mm, el valor máximo fue de 43.28 mm, y el valor medio fue de 33.663 mm (Gráfico 10).



**Gráfico 9. Anchura del seno maxilar derecho en ambos sexos.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 10. Anchura del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.9 Longitud seno maxilar derecho

El valor mínimo fue de 24.73 mm, el valor máximo fue de 47.32 mm, y la media fue 37.84 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 24.73 mm, el valor máximo fue de 45.01 mm, y el valor medio fue de 37.355 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 33.80 mm, el valor máximo fue de 47.32 mm, y el valor medio fue de 38.642 mm (Gráfico 11).

### 5.2.10 Longitud seno maxilar izquierdo

El valor mínimo fue de 31.47 mm, el valor máximo fue de 46.94 mm, y la media fue 38.50 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 31.47 mm, el valor máximo fue de 44.96 mm, y el valor medio fue de 37.964 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 32.57 mm, el valor máximo fue de 46.94 mm, y el valor medio fue de 39.344 mm (Gráfico 12).

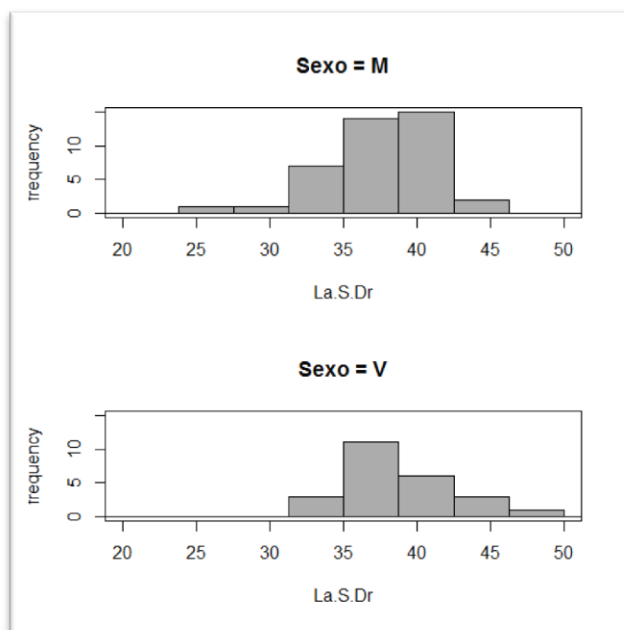
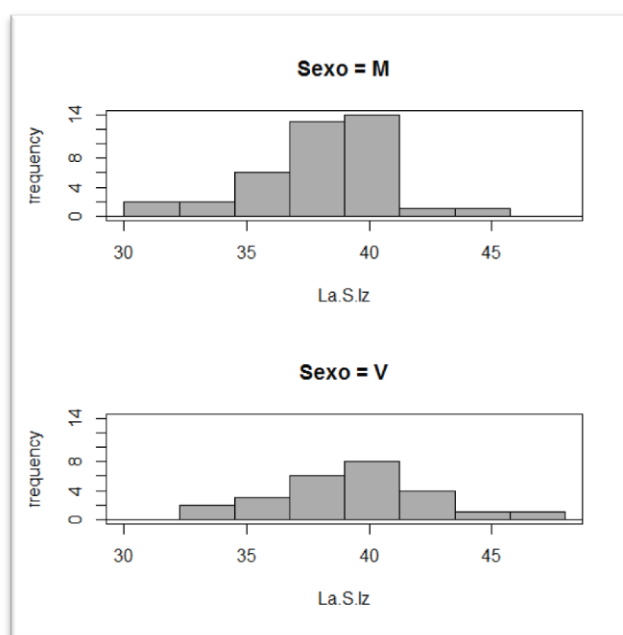


Gráfico 11. Longitud del seno maxilar derecho en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 12. Longitud del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.11 Distancia máxima entre ambos senos maxilares

El valor mínimo fue de 57.89 mm, el valor máximo 100.90 mm, y la media 81.92 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 57.89 mm, el valor máximo fue de 93.63 mm, y el valor medio fue de 80.239 mm. En el grupo de los varones el valor mínimo fue de 66.04 mm, el valor máximo fue de 100.90 mm, y el valor medio fue de 84.633 mm (Gráfico 13).

### 5.2.12 Distancia entre agujeros infraorbitarios

El valor mínimo fue de 45.86 mm, el valor máximo fue de 59.11 mm, y la media fue 51.72 mm. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 45.86 mm, el valor máximo fue de 57.56 mm, y el valor medio fue de 51.262 mm. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 46.29 mm, el valor máximo fue de 59.11 mm, y el valor medio fue de 52.463 mm (Gráfico 14).

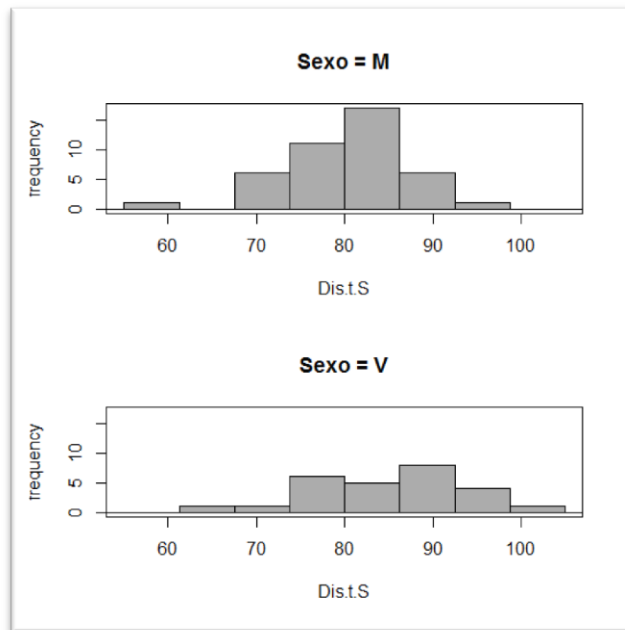


Gráfico 13. Distancia máxima entre ambos senos maxilares en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

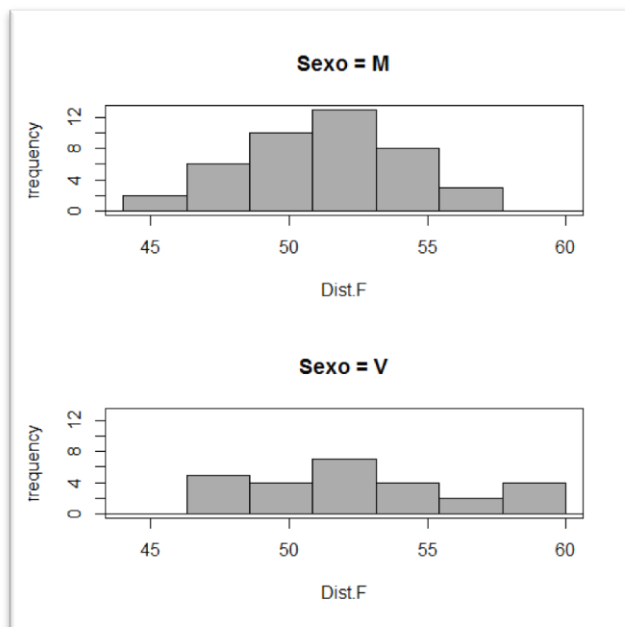


Gráfico 14. Distancia entre agujeros infraorbitarios en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5.3 MEDICIONES VOLUMÉTRICAS

### 5.3.1 Cálculo del volumen total<sup>107</sup>

#### 5.3.1.1 Volumen total del seno maxilar derecho

El valor mínimo fue de 2648 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 29650 mm<sup>3</sup>, y la media fue 13978 mm<sup>3</sup>. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 2648 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 21870 mm<sup>3</sup>, y el valor medio fue de 13108.08 mm<sup>3</sup>. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 4217 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 29650 mm<sup>3</sup>, y el valor medio fue de 15427.42 mm<sup>3</sup> (Gráfico 15).

#### 5.3.1.2 Volumen total del seno maxilar izquierdo

El valor mínimo fue de 3246 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 27200 mm<sup>3</sup>, y la media fue 14950 mm<sup>3</sup>. En el grupo de las mujeres, el valor mínimo fue de 3246 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 21630 mm<sup>3</sup>, y el valor medio fue de 13608.38 mm<sup>3</sup>. En el grupo de los varones, el valor mínimo fue de 6020 mm<sup>3</sup>, el valor máximo fue de 27200 mm<sup>3</sup>, y el valor medio fue de 16961.35 mm<sup>3</sup> (Gráfico 16).

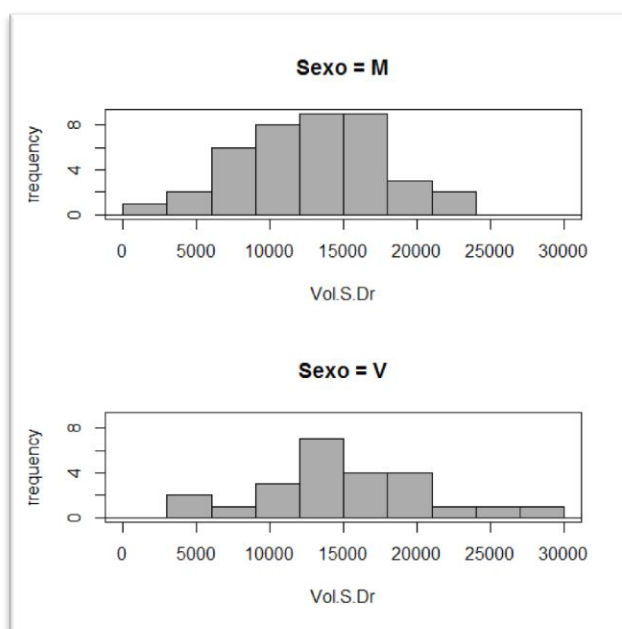


Gráfico 15. Volumen total del seno maxilar derecho en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

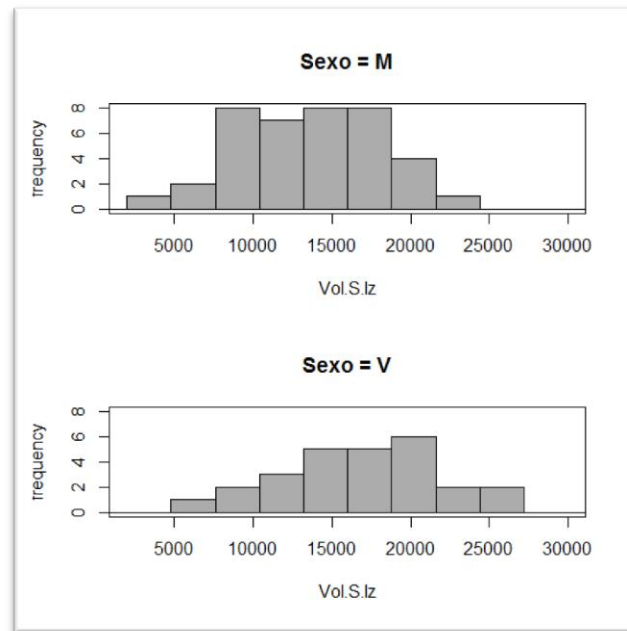


Gráfico 16. Volumen total del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.  
Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar su visualización, todos los datos obtenidos en la realización de las mediciones del presente estudio han sido recogidos en la Tabla 2.

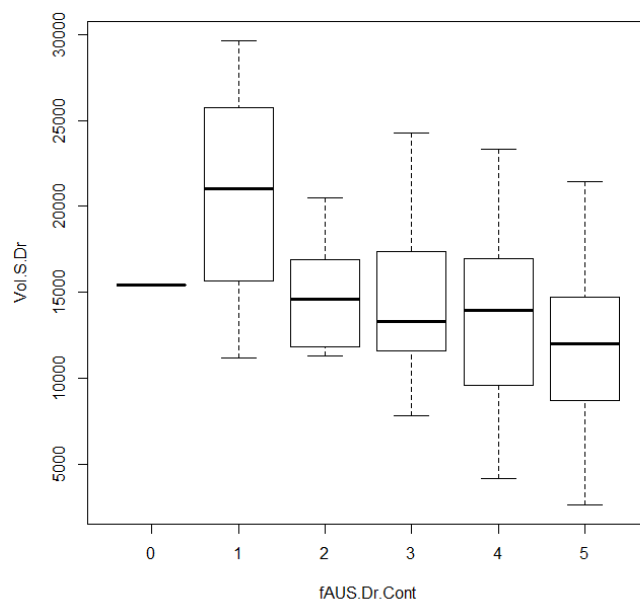
		Datos Totales	Mujeres	Varones
<b>Nºdientes ausentes lado derecho</b>	v.mín	0	1	0
	v.máx	5	5	5
	media	3.453	3.70	3.041
<b>Nºdientes ausentes lado izquierdo</b>	v.mín	0	0	0
	v.máx	5	5	5
	media	3.5	3.666	3.240
<b>Altura cresta ósea derecha (mm)</b>	v.mín	1.158	1.158	1.887
	v.máx	12.460	9.088	12.460
	media	5.333	5.170	5.613
<b>Altura cresta ósea izquierda (mm)</b>	v.mín	1.143	1.143	2.455
	v.máx	11.630	11.08	11.63
	media	5.493	5.492	5.492
<b>Anchura cresta ósea derecha (mm)</b>	v.mín	3.745	3.745	3.852
	v.máx	12.220	8.387	12.220
	media	6.210	5.765	6.977
<b>Anchura cresta ósea izquierda (mm)</b>	v.mín	3.470	3.470	4.104
	v.máx	10.950	8.794	10.950
	media	6.293	5.937	6.855
<b>Altura Seno Derecho (mm)</b>	v.mín	22.82	22.82	23.18
	v.máx	46.02	41.03	46.02
	media	34.65	33.307	36.881
<b>Altura Seno Izquierdo (mm)</b>	v.mín	23.26	23.26	25.33
	v.máx	50.20	39.65	50.20
	media	35.21	33.505	37.881
<b>Anchura Seno Derecho (mm)</b>	v.mín	18.33	18.33	18.59
	v.máx	42.46	36.33	42.46
	media	31.69	31.076	32.702
<b>Anchura Seno Izquierdo (mm)</b>	v.mín	21.74	21.74	22.77
	v.máx	43.28	39.54	43.28
	media	32.69	32.068	33.663
<b>Longitud Seno Derecho (mm)</b>	v.mín	24.73	24.73	33.80
	v.máx	47.32	45.01	47.32
	media	37.84	37.355	38.642
<b>Longitud Seno Izquierdo (mm)</b>	v.mín	31.47	31.47	32.57
	v.máx	46.94	44.96	46.94
	media	38.50	37.964	39.344
<b>Distancia máxima intersinusal (mm)</b>	v.mín	57.89	57.89	66.04
	v.máx	100.90	93.63	100.90
	media	81.92	80.239	84.633

<b>Distancia entre A.Infraorbit. (mm)</b>	<b>v.mín</b>	45.86	45.86	46.29
	<b>v.máx</b>	59.11	57.56	59.11
	<b>media</b>	51.72	51.262	52.463
<b>Volumen Sinusal Total Derecho (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>v.mín</b>	2648	2648	4217
	<b>v.máx</b>	29650	21870	29650
	<b>media</b>	13978	13108.08	15427.42
<b>Volume Sinusal Total Izquierdo (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>v.mín</b>	3246	3246	6020
	<b>v.máx</b>	27200	21630	27200
	<b>media</b>	14950	13608.38	16961.35

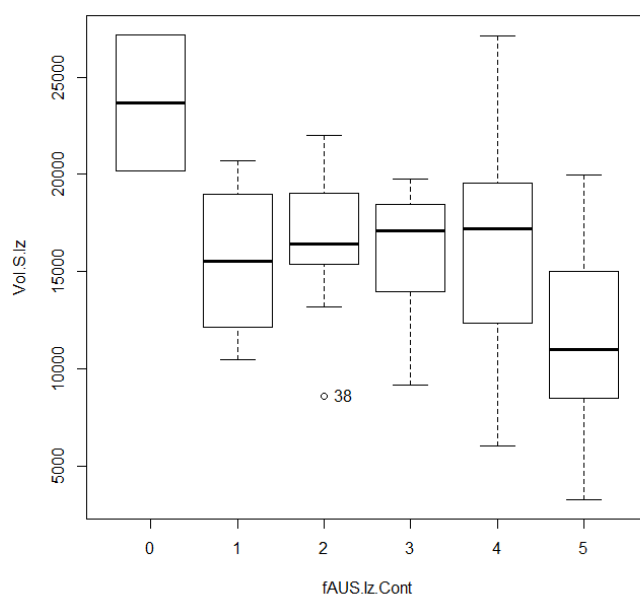
Tabla 2. Se muestran los valores de las mediciones efectuadas.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.1.3 Relación entre volumen total y número de dientes ausentes<sup>107</sup>

Para ver la posible relación entre las variables volumen total y número de dientes ausentes se utilizó el test de Kruskal-Wallis, no obteniendo resultados estadísticamente significativos en el lado derecho ( $p = 0.302$ ) (Gráfico 17), pero si en el lado izquierdo ( $p = 0.011$ ) (Gráfico 18).



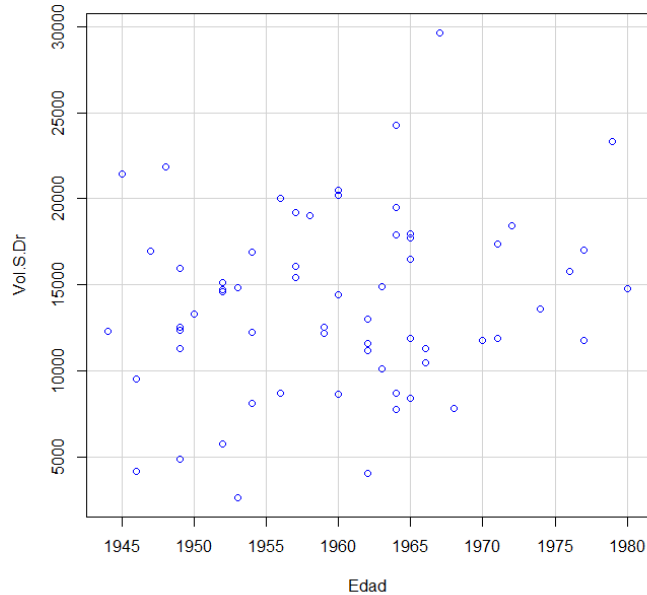
**Gráfico 17.** Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar derecho y su relación con el número de dientes ausentes en ese lado.  
Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 18.** Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar izquierdo y su relación con el número de dientes ausentes en ese lado.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.1.4 Relación entre volumen total y edad<sup>107</sup>

Para ver la posible relación entre las variables volumen total y edad se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, no observándose diferencias estadísticamente significativas en el lado derecho ( $p = 0.352$ ) (Gráfico 19), ni en el izquierdo ( $p = 0.390$ ) (Gráfico 20).



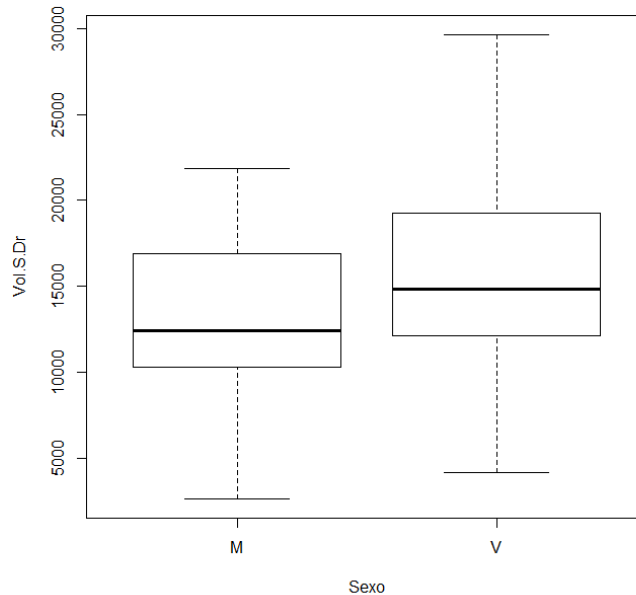
**Gráfico 19. Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar derecho según edad.**  
Fuente: Elaboración propia.



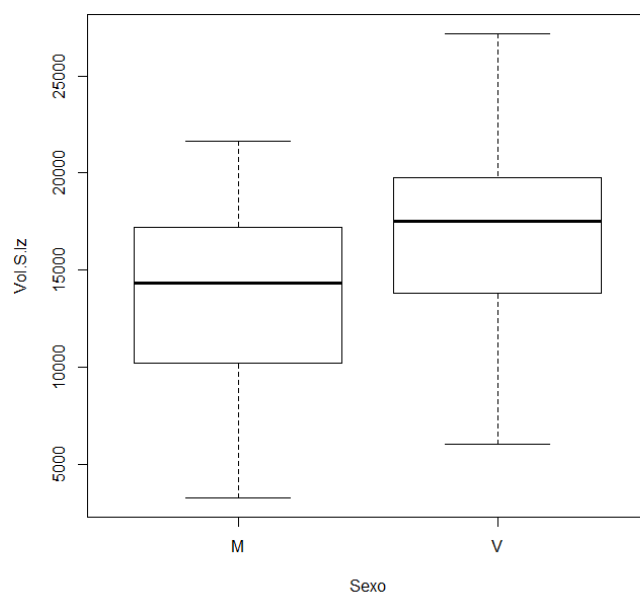
**Gráfico 20. Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar izquierdo según edad.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.1.5 Relación entre volumen total y sexo<sup>107</sup>

Cuando evaluamos estas variables mediante la prueba de Wilcoxon Mann-Whitney observamos que en el lado derecho no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.106$ ) (Gráfico 21). Sin embargo, en el lado izquierdo pudimos apreciar que existen diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.009$ ) (Gráfico 22). El valor de la media en el lado izquierdo es mayor en varones ( $16961.35 \text{ mm}^3$ ) que en mujeres ( $13608.38 \text{ mm}^3$ ).



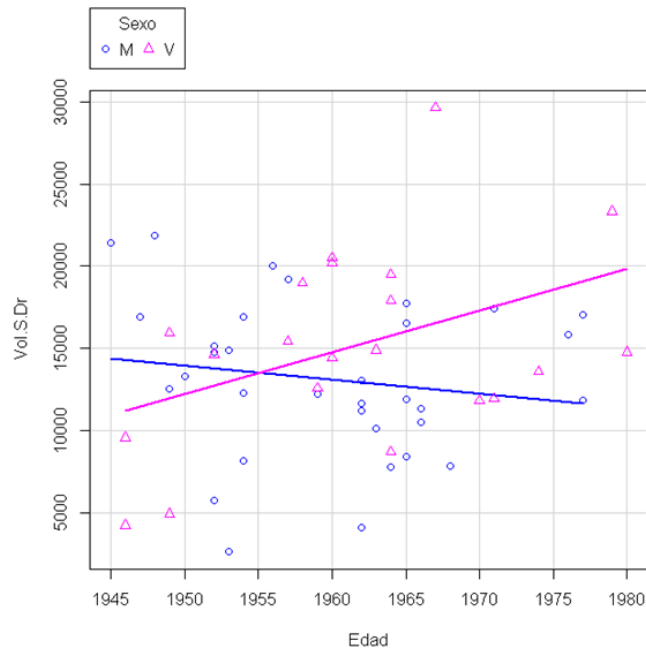
**Gráfico 21 . Volúmenes de los senos maxilares derechos obtenidos en mujeres y varones.  
Fuente: Elaboración propia**



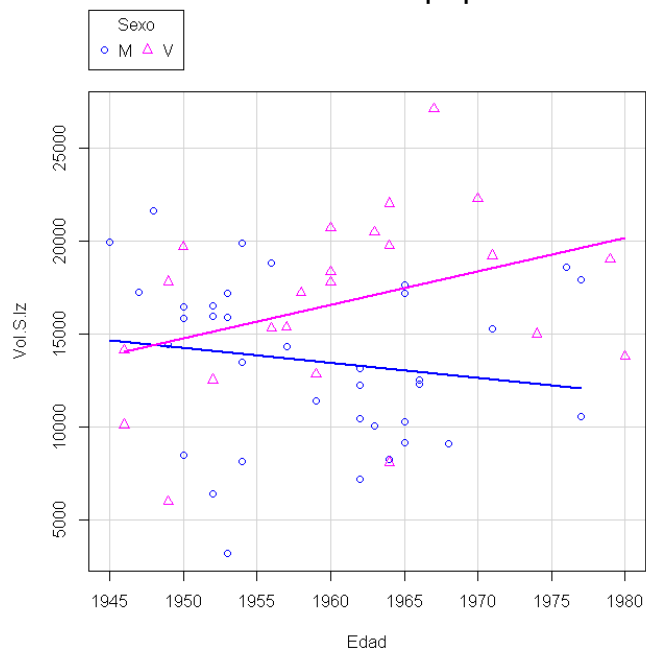
**Gráfico 22 . Volúmenes de los senos maxilares izquierdos obtenidos en mujeres y varones.  
Fuente: Elaboración propia**

5.3.1.6 Volumen por edad y sexo<sup>107</sup>

Tras el análisis de los datos obtenidos, y observando las siguientes gráficas, puede apreciarse una relación directa (varones) o inversa (mujeres) entre el volumen total y el año de nacimiento (Gráficos 23 y 24). Podemos decir que aparentemente existe una relación exponencial en el grupo de los varones entre el volumen total del lado izquierdo y la edad.



**Gráfico 23. Relación entre la edad de los pacientes y el volumen obtenido en el seno maxilar derecho.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 24. Relación entre la edad de los pacientes y el volumen obtenido en el seno maxilar izquierdo.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2 Cálculo del volumen de injerto<sup>35</sup>

Fueron incluidos un total de 68 pacientes, 26 varones y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años. Se estudiaron un total de 116 senos maxilares.

Como hemos mencionado anteriormente, para realizar el cálculo del volumen de injerto a 13 mm solo fueron incluidos aquellos casos que presentasen una altura ósea desde la cresta residual al suelo sinusal inferior a 8 mm.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el software R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org), versión 4.1.0)<sup>118</sup>.

#### 5.3.2.1 Volumen de injerto en el lado derecho<sup>35</sup>

En el lado derecho, el volumen máximo de injerto para una altura de 13 mm fue de 3178.0 mm<sup>3</sup>, y el volumen mínimo fue de 366.4 mm<sup>3</sup>, con una media de 1321.5 mm<sup>3</sup>. La media en el grupo de las mujeres fue de 1330.743 mm<sup>3</sup> y en el grupo de los varones fue de 1304.415 mm<sup>3</sup> (Gráfico 25).

#### 5.3.2.2 Volumen de injerto en el lado izquierdo<sup>35</sup>

En el lado izquierdo, el volumen máximo de injerto para una altura de 13 mm fue de 5940.0 mm<sup>3</sup>, y el volumen mínimo fue de 308.3 mm<sup>3</sup>, con una media de 1503.5 mm<sup>3</sup>. La media en el grupo de las mujeres fue de 1415.919 mm<sup>3</sup> y en el grupo de los varones fue de 1640.661 mm<sup>3</sup> (Gráfico 26).

#### 5.3.2.3 Volumen de injerto y sexo<sup>35</sup>

Al realizar los contrastes de las variables volumen de injerto a 13 mm y sexo, mediante el t-test con un nivel de confianza: 95%, obtuvimos un p-valor = 0.865 para el lado derecho, y un p-valor = 0.402 para el lado izquierdo, no pudiendo observarse diferencias estadísticamente significativas.

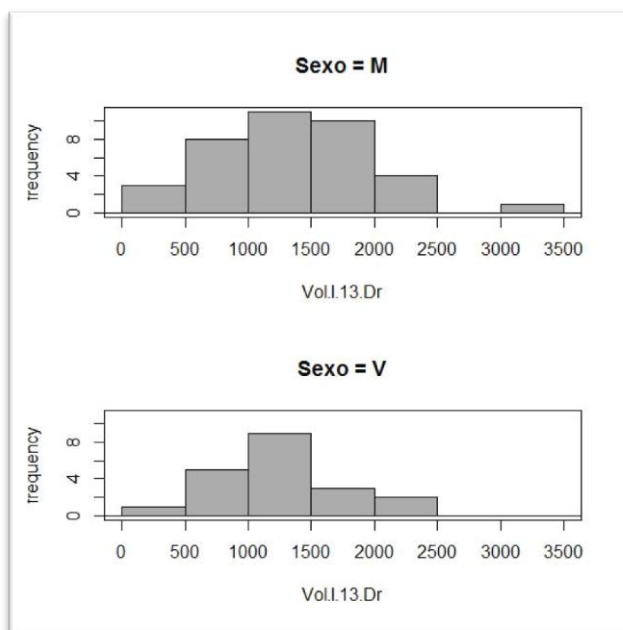


Gráfico 25. Distribución de los valores correspondientes a los volúmenes de injerto obtenidos en el lado derecho según el sexo.  
Fuente: Elaboración propia.

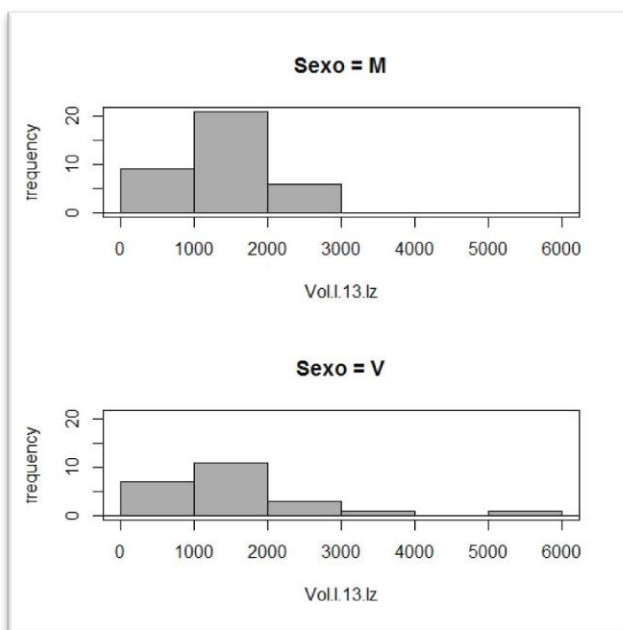


Gráfico 26. Distribución de los valores correspondientes a los volúmenes de injerto obtenidos en el lado izquierdo según el sexo.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.3.2.4 Altura de la cresta ósea remanente

En el lado derecho el valor mínimo fue de 1.158 mm, el valor máximo fue de 7.914 mm, con un valor medio de 5.033 mm. La media en el grupo de las mujeres fue de 5.064 mm y en el grupo de los varones fue de 4.973 mm (Gráfico 27).

En el lado izquierdo, el valor mínimo fue de 1.143 mm, el valor máximo fue de 7.790 mm, con un valor medio de 5.232 mm. La media en el grupo de las mujeres fue de 5.236 mm y en el grupo de los varones fue de 5.225 mm (Gráfico 28).

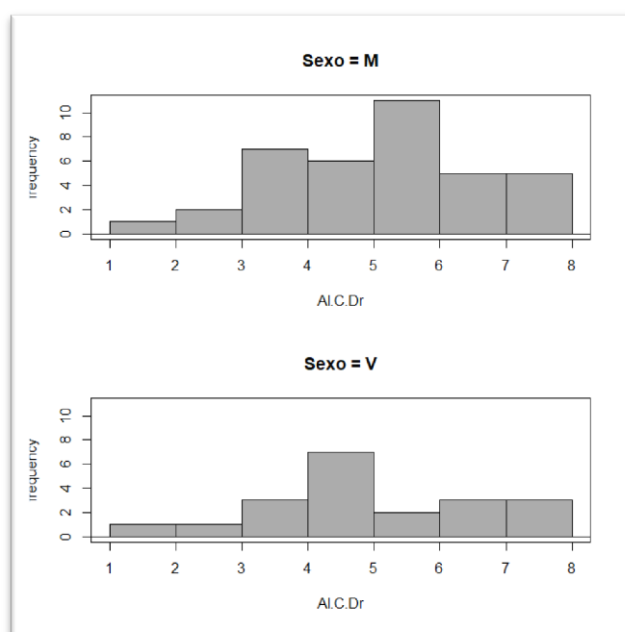


Gráfico 27. Distribución de los valores correspondientes a la altura de la cresta ósea remanente obtenido en el lado derecho según el sexo.

Fuente: Elaboración propia.

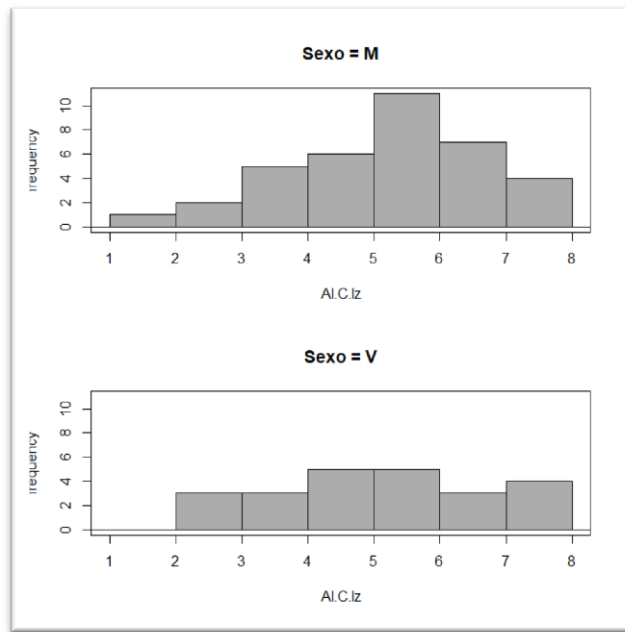
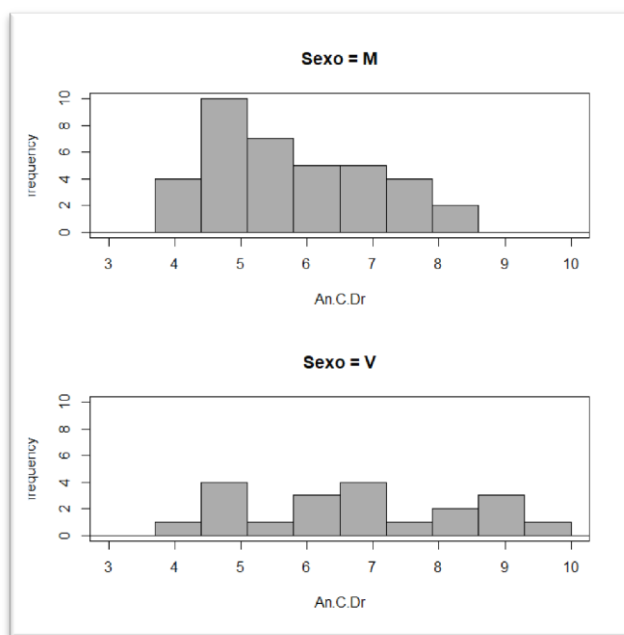


Gráfico 28. Distribución de los valores correspondientes a la altura de la cresta ósea remanente obtenido en el lado izquierdo según el sexo.  
Fuente: Elaboración propia.

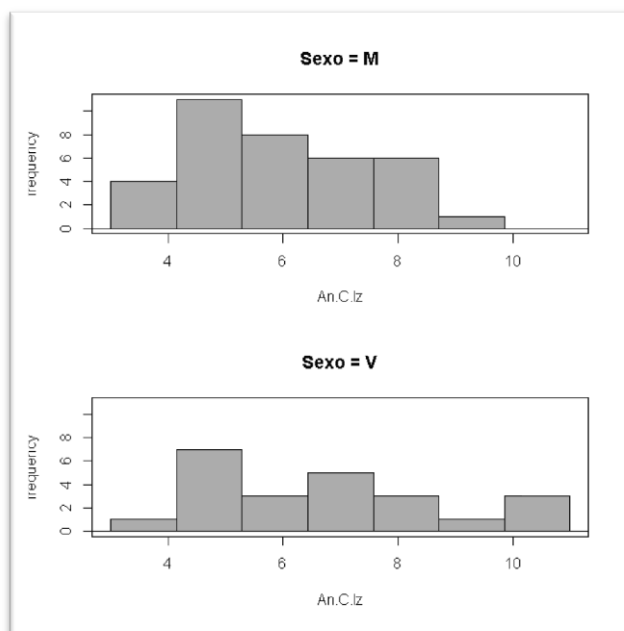
### 5.3.2.5 Anchura de la cresta ósea remanente

En el lado derecho el valor mínimo observado fue de 3.745 mm, el valor máximo fue de 9.562 mm, con un valor medio de 6.093 mm. El valor medio fue de 5.763 mm para las mujeres, y 6.703 mm en el caso de los varones (Gráfico 29).

En el lado izquierdo, el valor mínimo fue de 3.470 mm, el valor máximo fue de 10.950 mm, con un valor medio de 6.263 mm. El valor medio fue de 5.920 mm para las mujeres, y 6.799 mm en el caso de los varones (Gráfico 30).



**Gráfico 29.** Distribución de los valores correspondientes a la anchura de la cresta ósea remanente obtenidos en el lado derecho según el sexo.  
Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 30.** Distribución de los valores correspondientes a la anchura de la cresta ósea remanente obtenidos en el lado izquierdo según el sexo.  
Fuente: Elaboración propia.

Además, en el presente estudio hemos evaluado si la altura y la anchura del hueso remanente pueden influir en el mayor o menor volumen del injerto que necesitaremos cuando vayamos a realizar una cirugía de elevación de seno maxilar.

Para ello, utilizamos el coeficiente de correlación de Pearson, observando que en el lado derecho existe una correlación lineal inversa estadísticamente significativa con un p-valor  $< 0.001$  entre el volumen del injerto y la altura de la cresta ósea remanente.

Asimismo, vimos que no existe una correlación lineal estadísticamente significativa entre el volumen del injerto y el ancho de la cresta ósea residual, con un p-valor = 0.343.

Del mismo modo, en el lado izquierdo observamos que existe una correlación lineal inversa estadísticamente significativa entre el volumen del injerto y la altura de la cresta ósea remanente, con un p-valor = 0.003.

Observamos que no existe una correlación lineal estadísticamente significativa entre el volumen del injerto y el ancho de la cresta ósea remanente, con un p-valor = 0.124.

Para facilitar su visualización, todos los datos obtenidos en la realización de las mediciones del presente estudio han sido recogidos en la Tabla 3.

		Datos Totales	Mujeres	Varones
Altura cresta ósea remanente lado derecho (mm)	mín	1.158	1.158	1.887
	máx	7.914	7.914	7.697
	media	5.033	5.064	4.973
Altura cresta ósea remanente lado izquierdo (mm)	mín	1.143	1.143	2.455
	máx	7.790	7.611	7.790
	media	5.232	5.236	5.225
Anchura cresta ósea remanente lado derecho (mm)	mín	3.745	3.745	3.852
	máx	9.562	8.387	9.562
	media	6.093	5.763	6.703
Anchura cresta ósea remanente lado izquierdo (mm)	mín	3.470	3.470	4.104
	máx	10.950	8.794	10.950
	media	6.263	5.920	6.799
Volumen de injerto lado derecho (mm <sup>3</sup> )	mín	366.4	366.4	367.4
	máx	3178	3178	2339
	media	1321.5	1330.743	1304.415
Volumen de injerto lado izquierdo (mm <sup>3</sup> )	mín	308.3	372.7	308.3
	máx	5940	2874	5940
	media	1503.5	1415.919	1640.661

Tabla 3. Se muestran los valores de las mediciones efectuadas.  
Fuente: Elaboración propia.



## 6 DISCUSIÓN

### 6.1 VOLUMEN TOTAL<sup>107</sup>

El presente trabajo de investigación fue realizado en una muestra de población de 68 pacientes, 26 varones y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años, que presentaban a nivel del maxilar superior sectores posteriores edéntulos, de manera parcial o total, pudiendo ser de manera unilateral o bilateral. Fueron estudiados un total de 129 senos maxilares.

Hemos obtenido los siguientes valores del volumen total de los senos maxilares, siendo en el lado derecho, el valor mínimo de 2648 mm<sup>3</sup>, el valor máximo de 29650 mm<sup>3</sup>, y la media 13978 mm<sup>3</sup>, y en el lado izquierdo, el valor mínimo de 3246 mm<sup>3</sup>, el valor máximo de 27200 mm<sup>3</sup>, y la media 14950 mm<sup>3</sup>.

Estos valores son comparables a los aportados por diferentes autores que podemos encontrar en la literatura al respecto.

En 2005, el grupo de Jun<sup>119</sup> evaluó el cambio del volumen del seno maxilar según la edad y el sexo del paciente mediante el uso de una reconstrucción tridimensional de imágenes de tomografía computarizada. El volumen medio del seno maxilar en adultos jóvenes fue de 24043 mm<sup>3</sup> en varones y 15859.5 mm<sup>3</sup> en mujeres.

En 2010, Park y su equipo<sup>120</sup> presentaron un estudio cuyo propósito fue delimitar el desarrollo normal de los senos paranasales en todos los grupos de edad y determinar los valores volumétricos adultos normales mediante tomografía computarizada (TC) de los senos paranasales utilizando procedimientos volumétricos. Para ello realizaron un estudio de TC volumétrico prospectivo con 260 pacientes (520 lados) menores de 25 años mediante reconstrucción tridimensional.

Observaron que los senos maxilares se encontraban neumatizados en el nacimiento, en todos los casos, exhibiendo un patrón de crecimiento monomodal creciente hasta los 15 años de edad, y el volumen medio después del crecimiento completo fue de 14.83±1.36 cm<sup>3</sup>.

Otro estudio con valores similares es el realizado en el 2011 por Sahlstrand-Johnson<sup>121</sup> en el que tras analizar un total de 120 senos maxilares y frontales de TC

de cabeza de 60 pacientes consecutivos (32 mujeres y 28 hombres) con una edad media de  $40 \pm 14$  años (mediana 41 y rango 18-65 años) reportaron un valor medio del volumen del seno maxilar de  $15.7 \pm 5.3$  cm<sup>3</sup>.

En 2018, Luz y colaboradores<sup>101</sup> analizaron un total de 128 senos maxilares en 64 pacientes con una media de edad de 46.2 años. Para ello, emplearon imágenes CBCT y el software SMOP (Swissmeda AG, Baar, Suiza) para el cálculo del volumen. Los valores fueron 28.9 cm<sup>3</sup> como valor máximo, 4.0 cm<sup>3</sup> como valor mínimo y un valor medio de 17.1 cm<sup>3</sup>. Ese mismo año, el equipo de Cohen<sup>122</sup> estudió las características del volumen de los senos maxilares, esfenoidales y frontales entre adultos caucásicos sanos, utilizando tomografías computarizadas (TC) de 201 sujetos. La población del estudio se subdividió por sexo y edad (50 hombres de 25 a 64 años; 51 hombres de  $\geq 65$  años; 50 mujeres de 25 a 64 años y 50 mujeres de  $\geq 65$  años). Obtuvieron un volumen medio del seno maxilar de  $12.75 \pm 4.38$  cm<sup>3</sup>.

En 2020, Gulec y su equipo<sup>100</sup> publicaron un estudio en el que trataron de determinar el tamaño volumétrico del seno maxilar e investigar el efecto del género y la edad en el volumen del mismo, utilizando imágenes de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) en una subpoblación turca. Para ello emplearon un total de 133 individuos (84 mujeres, 49 hombres) con un rango de edad entre 8 y 51 años. Para medir el volumen emplearon el software MIMICS 21.0 (Materialise HQ Technologielaan, Lovaina, Bélgica).

El volumen medio del seno maxilar derecho fue de 13.173 cm<sup>3</sup>, mientras que el del izquierdo fue de 13.194 cm<sup>3</sup>. No hubo diferencia significativa entre los volúmenes del seno maxilar derecho e izquierdo ( $p > 0.05$ ). No hubo correlación significativa entre el volumen y la edad ( $p > 0.05$ ). Observaron que el volumen del seno maxilar no cambió según el género ( $p > 0.05$ ).

Consideramos que las pequeñas discrepancias de los volúmenes de los senos maxilares que se pueden apreciar pueden estar causadas en parte por la diferencia de edad en las muestras de pacientes seleccionadas en cada estudio. Además, estamos de acuerdo con Giacomini<sup>92</sup> en que en la literatura se puede apreciar una

falta de consenso en los estudios que tratan sobre las mediciones de volumen de los senos maxilares, pudiendo ser debido, entre otras causas, a las diferentes técnicas

de adquisición de datos de tomografía computarizada, métodos de segmentación o diferentes enfoques de investigación.

En cuanto a las diferencias de volumen entre los distintos lados, observamos resultados similares, coincidiendo con los obtenidos por otros autores<sup>4,5,85,86,101,121,123</sup>.

Con respecto a la diferencia de volumen entre sexos, en el lado derecho no observamos diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.106$ ), pero sí las observamos en el lado izquierdo ( $p = 0.009$ ), siendo mayor para los varones. Este resultado coincide con el obtenido por Luz y su equipo<sup>101</sup>, quienes observaron que ambos senos maxilares (márgenes óseos) de cada paciente eran bastante similares en tamaño (diferencia media entre el izquierdo y el derecho  $0.5 \text{ cm}^3$ ), pero estadísticamente significativos con volúmenes ligeramente más pequeños en el lado izquierdo ( $p = 0.045$ ). Encontraron que los hombres tenían un volumen óseo medio estadísticamente significativo más alto ( $19.0 \text{ cm}^3$ ) que las mujeres ( $15.5 \text{ cm}^3$ ). Estos datos también coinciden con los obtenidos por otros autores<sup>93,121,122,124</sup>.

En 2019, el grupo de investigación de Farias Gomes<sup>106</sup> realizó mediciones lineales y volumétricas de los senos maxilares mediante imágenes CBCT para la determinación del sexo en ciencias forenses. Para ello emplearon el software ITK-SNAP, obteniendo resultados que sugieren que el volumen sinusal es mayor en el varón. Estos resultados son similares a los obtenidos ese mismo año por Bornstein y colaboradores<sup>123</sup>, que tras la evaluación de los factores que influyen en el volumen de los senos maxilares sanos mediante CBCT, observaron que los hombres tenían volúmenes del seno maxilar significativamente mayores en comparación con las mujeres. Sin embargo, estos resultados difieren de los proporcionados por Gulec<sup>100</sup> quien no observó que el género influya en el volumen de los senos nasales.

En cuanto a la relación entre el volumen total y las ausencias dentarias, hemos obtenido diferencias estadísticamente significativas en el lado izquierdo ( $p=0.011$ ), apreciándose un mayor volumen en los casos con menos dientes perdidos.

Sin embargo, otros autores como Schriber<sup>103</sup> consideran que el edentulismo no tiene impacto en las dimensiones de los senos, lo que sugiere que no existe una neumatización continua en el seno maxilar después de la pérdida de un diente.

Afirman que después de la pérdida de dientes en la región maxilar posterior, la pérdida de altura del hueso vertical se debe principalmente a la reabsorción de la

cresta alveolar y no a la neumatización del seno maxilar. Shahbazian y colaboradores<sup>87</sup> no encontraron diferencias estadísticamente significativas en las dimensiones del seno maxilar para pacientes principalmente dentados y edéntulos, como lo hicieron el grupo de Luz<sup>101</sup> que no apreciaron una asociación significativa entre el estado de la dentición y el volumen de los senos nasales.

Tampoco Bornstein<sup>123</sup> observó diferencias de volumen entre los pacientes dentados y los edéntulos o parcialmente dentados. Afirma que ni la pérdida dentaria ni el aumento de la edad podrían correlacionarse con la neumatización. De este modo, considera que el aumento del volumen del seno maxilar a lo largo de la vida y tras la exodoncia de los dientes posteriores en el maxilar superior, debe considerarse un concepto erróneo. Para probar esta hipótesis, cree necesaria la realización de estudios prospectivos que comparen los volúmenes de los senos maxilares utilizando intervalos de tiempo estandarizados antes y después de la exodoncia de los dientes en el maxilar posterior.

En cuanto a la relación entre edad y volumen total, no encontramos diferencias significativas en nuestro estudio. Estos resultados coinciden con los obtenidos por diferentes autores<sup>4,5,100,101,103,121</sup>. Sin embargo, difieren de los obtenidos por el grupo de Velasco-Torres<sup>124</sup> en un estudio publicado en 2017 en el que realizaron mediciones del volumen sinusal total utilizando imágenes CBCT, observando que los pacientes mayores mostraban un volumen sinusal menor, independientemente del sexo y del número de sus dientes. Asimismo, Cohen y colaboradores<sup>122</sup> observaron que en ambos sexos, los pacientes mayores demostraron un volumen significativamente menor. De igual modo, el grupo de Bornstein<sup>123</sup> observó que los sujetos con una media de edad de 24.3 años presentaron un volumen sinusal mayor que los sujetos de mayor edad.

En relación al tipo de imágenes CBCT empleadas en nuestro trabajo, debemos mencionar el estudio publicado en 2006 por el equipo de investigación de Pinsky<sup>97</sup>, en el que analizaron la precisión de las mediciones tridimensionales mediante tomografía computarizada de haz cónico, afirmando que tiene el potencial de ser un método práctico, preciso y no invasivo para determinar de manera fiable el tamaño y el volumen de una lesión ósea. Además, consideraron que una mayor validación clínica conducirá a una amplia gama de aplicaciones en el diagnóstico oral y maxilofacial.

En un estudio llevado a cabo en 2011 por el grupo de Kirmeier<sup>88</sup> en el que probaron una técnica de análisis volumétrico virtual semiautomático en 36 tomografías computarizadas de senos maxilares humanos, afirmaron que el procedimiento de medición mediante el empleo de tomografía computarizada debería recomendarse en numerosas aplicaciones clínicas para determinar de manera fiable el volumen de los senos maxilares humanos.

Posteriormente, en 2013, Baciut y colaboradores<sup>125</sup> compararon la validez clínica del CBCT frente a la radiografía panorámica en el proceso de planificación implantológica en combinación con procedimientos de injertos sinusales. Observaron que la evaluación de la morfología sinusal mostró una tasa de detección significativamente mayor de hipertrofia de la mucosa sinusal en la CBCT. El resultado más atractivo es un aumento significativo de la confianza quirúrgica y una predicción más exacta de las complicaciones cuando se utiliza la CBCT. Además han podido afirmar que la realización de una planificación preoperatoria basada en CBCT puede mejorar el diagnóstico preoperatorio de los senos maxilares y como consecuencia la eficacia quirúrgica.

Ese mismo año, el grupo de Alhowalia<sup>98</sup> estudió la precisión de las imágenes CBCT en el cálculo volumétrico de lesiones periapicales simuladas afirmando que es un método preciso para realizar mediciones volumétricas de cavidades creadas en el hueso de manera artificial con el empleo de software y entrenamiento adecuado.

En cuanto al dispositivo i-CAT (Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA) empleado para la obtención de las imágenes CBCT empleadas en el presente estudio, es necesario destacar el trabajo publicado en 2008 por el equipo de Loubele<sup>126</sup>, en el que analizaron la calidad de imagen frente a la dosis de radiación de varios dispositivos de tomografía computarizada de haz cónico. Utilizaron un fantomas de cráneo escaneado con un escáner láser y un fantomas de contraste para evaluar la precisión de la segmentación. Los fantomas se escanearon en Accuitomo 3D, MercuRay, NewTom 3G, i-CAT y Sensation 16. Observaron que la mejor dosis de radiación frente a la calidad de imagen se encontró para el i-CAT.

También es preciso mencionar el trabajo realizado en 2009 por el grupo de Chau<sup>127</sup>, en el que compararon la dosis de radiación para la obtención de imágenes

de implantes mediante tomografía espiral convencional, tomografía computarizada (TC) y tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Para ello seleccionaron las unidades Scanora (Orion Corporation Soredex, Helsinki, Finlandia), Spiral HiSpeed / Fxi (General Electric, Milwaukee, WI) y Classic iCAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA) para representar la tomografía espiral convencional, la TC y la CBCT, respectivamente. Utilizaron dosímetros termoluminiscentes en un fantomas Rando para medir las dosis de radiación absorbida en las lentes, las glándulas parótidas, las glándulas submandibulares, la glándula sublingual y la tiroides para técnicas de imagen de implantes maxilares y mandibulares, observando que la TC en espiral proporcionó la dosis absorbida más alta, mientras que la CBCT proporcionó la más baja en las exploraciones de implantes maxilares y mandibulares. Las glándulas salivales recibieron las dosis absorbidas más altas. Scanora administró dosis de radiación más bajas que CBCT cuando se irradió la región anterior del maxilar o la mandíbula.

Estos autores afirman que en las imágenes de implantes, la TC administra la dosis de radiación más alta a las glándulas salivales, mientras que el sistema CBCT estudiado administra la dosis más baja. Independientemente de la modalidad de obtención de imágenes, durante las imágenes de implantes realizadas para este estudio, las glándulas salivales reciben la mayor parte de la radiación.

## 6.2 VOLUMEN DE INJERTO<sup>35</sup>

Cuando vamos a realizar una planificación de una cirugía de elevación de seno maxilar, uno de los factores importantes que debemos considerar, es el conocimiento del volumen de material de injerto que vamos a precisar para poder lograr un incremento óseo suficiente en altura para poder rehabilitar posteriormente a través de la inserción de implantes osteointegrados.

El presente trabajo de investigación fue realizado en una muestra de población de 68 pacientes, 26 varones y 42 mujeres, que presentaban a nivel del maxilar superior sectores posteriores edéntulos, de manera parcial o total, pudiendo ser de manera unilateral o bilateral. Además, debían presentar una altura ósea desde la cresta residual al suelo sinusal inferior a 8 mm. Fueron estudiados un total de 116 senos maxilares<sup>35</sup>. Este tamaño muestral es mayor al utilizado por otros autores, como Uchida<sup>5</sup>, Krennmair<sup>109</sup>, Gaggl<sup>108</sup> y Arias-Irimia<sup>111</sup>, que estudiaron un total de

20, 44, 6 y 47 senos maxilares, permitiéndonos la realización de un análisis comparativo de los resultados obtenidos en nuestro trabajo.

La edad media de los pacientes estudiados fue de 60 años, siendo similar a la de otros estudios como el de Krennmair<sup>109</sup>, con 53.1 años o al realizado por Arias-Irimia<sup>111</sup>, con una edad media de 59.7 años. Cabe destacar que la edad media de los pacientes utilizados en diferentes estudios sobre cirugías de elevación de seno maxilar, la población en la que estos procedimientos son más frecuentes es entre 50 y 60 años<sup>111,112,128,129</sup>.

Existen varios estudios publicados que versan sobre el cálculo del volumen sinusal, sin embargo, el número de trabajos que tengan como objetivo principal la determinación prequirúrgica de la cantidad de injerto que se va a necesitar para la realización de una cirugía de elevación de seno maxilar es muy escaso<sup>35</sup>.

El primer estudio publicado al respecto fue el de Uchida y colaboradores<sup>4</sup> en 1998, que realizaron mediciones del tamaño del seno maxilar en 32 cadáveres, un total de 59 senos, para ser utilizado como ayuda para calcular el volumen del injerto óseo antes de la realización de la cirugía. Observaron que en los injertos de hueso del seno maxilar, teniendo en consideración las posibles diferencias individuales a nivel del volumen sinusal y la reabsorción del injerto óseo, se necesitan 4.74 cm<sup>3</sup> o más para lograr una elevación de 15 mm y 7.37 cm<sup>3</sup> o más para una elevación de 20 mm. Estos autores publicaron un trabajo similar en el mismo año, en el que estudiaron un total de 38 senos mediante TC y reconstrucción 3D<sup>5</sup>.

A su vez, el equipo de Gaggl<sup>108</sup> realizó la planificación del tratamiento de elevaciones de senos maxilares mediante modelos fresados 3D derivados de tomografías computarizadas previas. A continuación, practicaron la cirugía de elevación de seno maxilar utilizando la cresta ilíaca y la inserción de implantes inmediatos simultáneos. Es necesario destacar que la muestra de pacientes empleada fue muy insuficiente, ya que solo utilizaron este protocolo en 3 casos clínicos.

En 2006, Krennmair y colaboradores<sup>109</sup> publicaron un trabajo sobre el cálculo del aumento de volumen para la cirugía de elevación de seno maxilar basado en tomografía computarizada de sección transversal para dos alturas diferentes (12 y 17 mm). Realizaron el cálculo para 44 elevaciones, obteniendo los siguientes resultados:

-Para alcanzar una altura de 12 mm, se necesitó un aumento de  $7.2 \pm 2.1$  mm. y el volumen requerido fue de  $1.7 \pm 0.9$  cm<sup>3</sup>.

-Para alcanzar una altura de 17 mm, se necesitó un aumento de  $12.4 \pm 2.0$  mm. y el volumen requerido fue de  $3.6 \pm 1.5$  cm<sup>3</sup>.

Observaron que existía una correlación significativa entre el aumento de altura y el volumen calculado para la elevación del seno maxilar.

En el 2009, el grupo de Iman Dakhli<sup>110</sup> presentó un trabajo sobre la validez del estudio tridimensional mediante TC de la reconstrucción del seno maxilar. Realizaron mediciones de la anchura y altura de la cresta residual, angulaciones del suelo del seno, volumen total del seno y volumen de injerto necesario para 3 alturas en la zona potencial del implante.

Un año más tarde, en 2010, el equipo de investigación de Arias-Irimia<sup>111</sup> evaluó la utilidad del software CompuDent para la determinación preoperatoria del volumen del injerto óseo y el cálculo del volumen del injerto necesario para la rehabilitación mediante dos medidas de implantes. Se seleccionaron un total de 32 pacientes, 16 hombres y 16 mujeres, con una edad media de 59.7 años y realizaron el cálculo del volumen de injerto necesario para 47 elevaciones de seno maxilar.

Como resultado, obtuvieron que el volumen medio del injerto para conseguir una elevación de 13.4 fue de 2.42 cm<sup>3</sup> para el seno maxilar derecho, con un rango de 1.4 cm<sup>3</sup> a 4.1 cm<sup>3</sup>, y de 2.50 cm<sup>3</sup> para el seno maxilar izquierdo, con un rango de 1.04 cm<sup>3</sup> a 3.79 cm<sup>3</sup>. De igual modo, el volumen medio del injerto para conseguir una elevación de 15 mm fue de 3.01 cm<sup>3</sup> para el seno maxilar derecho, con un rango de 1.78 cm<sup>3</sup> a 4.59 cm<sup>3</sup>, y de 3.09 cm<sup>3</sup> para el seno maxilar izquierdo, con un rango de 1.42 cm<sup>3</sup> a 4.49 cm<sup>3</sup>.

En 2012, estos mismos autores presentaron un trabajo muy parecido al anterior<sup>112</sup>, en el que calcularon el volumen de injerto para 62 elevaciones. El volumen medio del injerto para conseguir una elevación de 13.4 mm fue de  $2.61 \pm 0.69$  cm<sup>3</sup> para el seno maxilar derecho, con un rango de 1.38 - 4.1 cm<sup>3</sup>, y de  $2.68 \pm 0.81$  cm<sup>3</sup> para el seno maxilar izquierdo, con un rango de 1.1 - 4.25 cm<sup>3</sup>. El volumen medio del injerto para una elevación de 15 mm fue de  $3.13 \pm 0.75$  cm<sup>3</sup> para el seno maxilar derecho, con un rango de 1.59-4.81 cm<sup>3</sup>, y de  $3.29 \pm 1.02$  cm<sup>3</sup> para el seno maxilar izquierdo, con un rango de 1.48 -5.11 cm<sup>3</sup>. En ambos trabajos afirman que este software es una herramienta eficaz para determinar el

volumen del injerto óseo por su sencillez, rapidez y posibilidad de estandarización en todos los procedimientos prequirúrgicos.

Los resultados obtenidos en su estudio contrastan con los de Uchida y su equipo<sup>4</sup>, que reportan un volumen promedio de 4.02 cm<sup>3</sup> para elevaciones de 15 mm. Consideran que esta diferencia del 23.13% puede deberse al hecho de que estos autores utilizaron únicamente TC axial sin tener en cuenta la altura de la cresta alveolar residual, y por otra parte, puede ser debido a la complejidad del procedimiento utilizado. Sin embargo, en otro estudio realizado por el mismo autor<sup>5</sup>, en el que mide el volumen de injerto necesario para un levantamiento de 15 mm. en sujetos cadáveres, los resultados obtenidos fueron 3.5 cm<sup>3</sup>, siendo estos resultados similares a los suyos, y por lo tanto, consideran que pueden usarlos como una indicación de la similitud entre los resultados del software CompuDent y los resultados obtenidos en los senos maxilares reales.

En nuestro estudio, en el lado derecho, el volumen máximo de injerto para una altura de 13 mm fue de 3178.0 mm<sup>3</sup>, y el volumen mínimo fue de 366.4 mm<sup>3</sup>, con una media de 1321.5 mm<sup>3</sup>. La media en el grupo de las mujeres fue de 1330.743 mm<sup>3</sup> y en el grupo de los varones fue de 1304.415 mm<sup>3</sup>.

En el lado izquierdo, el volumen máximo de injerto para una altura de 13mm fue de 5940.0 mm<sup>3</sup>, y el volumen mínimo fue de 308.3 mm<sup>3</sup>, con una media de 1503.5 mm<sup>3</sup>. La media en el grupo de las mujeres fue de 1415.919 mm<sup>3</sup> y en el grupo de los varones fue de 1640.661 mm<sup>3</sup>.

Al contrastar nuestros resultados con los trabajos anteriormente citados, observamos que el volumen medio para lograr una altura de 13 mm es inferior al obtenido por Arias-Irimia y colaboradores. Consideramos que esta diferencia puede ser debida a que en dicho estudio realizaron el cálculo para una altura ligeramente mayor.

En lo que si coincidimos con estos autores es en que hemos obtenido valores de volumen de injerto ligeramente mayores para el seno maxilar izquierdo.

#### **Anchura de la cresta ósea remanente**

En el lado derecho el valor mínimo observado fue de 3.745 mm, el valor máximo fue de 9.562 mm, con un valor medio de 6.093 mm. El valor medio fue de 5.763 mm para las mujeres, y 6.703 mm en el caso de los varones.

En el lado izquierdo, el valor mínimo fue de 3.470 mm, el valor máximo fue de 10.950 mm, con un valor medio de 6.263 mm. El valor medio fue de 5.920 mm para las mujeres, y 6.799 mm en el caso de los varones.

Estos resultados son comparables a los obtenidos por Arias-Irimia, que describen un promedio en el lado derecho de 7.73 mm, con un rango entre 5.66 mm y 11.15 mm, mientras que en el lado izquierdo, la media fue de 7.65 mm, con un rango entre 3.98 mm y 11.27 mm. El ancho es mayor en hombres que en mujeres de ambos lados, al igual que en nuestro estudio.

### **Altura de la cresta ósea remanente**

En el lado derecho el valor mínimo fue de 1.158 mm, el valor máximo fue de 7.914 mm, con un valor medio de 5.033 mm. La media en el grupo de las mujeres fue de 5.064 mm y en el grupo de los varones fue de 4.973 mm.

En el lado izquierdo, el valor mínimo fue de 1.143 mm, el valor máximo fue de 7.790 mm, con un valor medio de 5.232 mm. La media en el grupo de las mujeres fue de 5.236 mm y en el grupo de los varones fue de 5.225 mm.

En cuanto a la altura de la cresta alveolar, Arias-Irimia y colaboradores describen un promedio en el lado derecho de 4.83 mm, con un rango entre 2.79 mm y 6.51 mm, mientras que en el lado izquierdo el promedio fue de 4.58 mm, con un rango entre 2.58 mm y 7.03 mm. La altura es mayor en el lado derecho en los hombres que en las mujeres, mientras que en el lado izquierdo, la altura es mayor en mujeres que en hombres. En nuestro estudio, observamos una altura ligeramente mayor en las mujeres en ambos lados.

Además, en el presente estudio hemos evaluado si la altura y la anchura del hueso remanente pueden influir en el mayor o menor volumen del injerto que vamos a necesitar cuando vayamos a realizar una cirugía de elevación del seno maxilar.

Basándonos en los resultados obtenidos en nuestro trabajo, y mediante el empleo del coeficiente de correlación de Pearson, pudimos observar que en ambos lados existe una correlación lineal inversa estadísticamente significativa entre el volumen del injerto y la altura de la cresta ósea remanente, coincidiendo así con los resultados obtenidos por Arias-Irimia y colaboradores<sup>111,112</sup>.

Asimismo, en ambos lados no obtuvimos una correlación lineal estadísticamente significativa entre el volumen del injerto y la anchura de la cresta ósea residual.

Como hemos mencionado anteriormente, no existen muchos estudios publicados que traten sobre la determinación prequirúrgica del volumen de injerto que se precisa para la realización de una cirugía de elevación de seno maxilar y su posterior rehabilitación mediante el empleo de implantes osteointegrados. Coincidimos con Arias-Irimia en que esto puede estar motivado por la dificultad que entraña la estandarización de un procedimiento adecuado.

Para conocer de manera preoperatoria la cantidad de injerto necesaria para poder realizar una cirugía de elevación de seno maxilar, algunos autores se han ayudado de la utilización de herramientas adicionales, como pueden ser diferentes tipos de programas para la planificación de implantes dentales, como el CompuDent en los estudios de Arias-Irimia<sup>111,112</sup>, el Implant Viewer 2 utilizado por Hemerson de Moraes<sup>130</sup>, o el Mimics de Materialise empleado por Buyukkurt<sup>131</sup>. Este último autor evaluó en su estudio la cantidad máxima de injerto óseo recolectable en la sínfisis mandibular y el volumen de aumento necesario para diferentes niveles de elevación del seno (de 10 a 18 mm), además de calcular qué nivel de elevación del seno se puede adquirir utilizando el volumen de injerto óseo de sínfisis individual con tomografía computarizada tridimensional (3D TC) y el software anteriormente citado.

Determinaron que el volumen óseo medio de la sínfisis ( $3491.08 \pm 772.12$  mm<sup>3</sup>) podría proporcionar aproximadamente 14 mm de altura de elevación del seno ( $3167.84 \pm 1067.65$ ). Afirman que se pueden utilizar técnicas y software de 3D CT para calcular el volumen de injerto requerido para el aumento del suelo del seno y el volumen del injerto óseo de sínfisis, y que la región de la sínfisis mandibular puede proporcionar un volumen óseo adecuado para el aumento de elevación del seno.

De todas formas, hay que destacar que el tamaño muestral empleado fue mucho menor, ya que solo obtuvieron datos de 15 tomografías computarizadas de 15 pacientes adultos (10 hombres, 5 mujeres).

Debemos mencionar que en la fecha de inicio de nuestro trabajo de investigación, no encontramos ningún estudio publicado que haya empleado el

software ITK-SNAP para la determinación prequirúrgica del volumen del injerto requerido en la cirugía de elevación del seno maxilar, y por eso debemos considerar a nuestro trabajo como innovador desde un punto de vista de su aplicación clínica.

El presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo mediante el empleo de imágenes CBCT en combinación con el software ITK-SNAP, pudiendo observarse que los resultados obtenidos son similares a los reportados por otros autores. Consideramos que puede ser una herramienta de gran utilidad cuando vayamos a planificar una cirugía de elevación de seno maxilar, ya que nos va a permitir conocer de manera preoperatoria la cantidad de material de injerto que se va a precisar en cada caso, destacando su rapidez, así como su facilidad de uso, evitando métodos más complejos y laboriosos. Es por este motivo que consideramos que puede ser una herramienta que debemos tener en consideración en la planificación de este tipo de cirugías.

Además, debemos ser conscientes de la gran demanda que existe en la actualidad de este tipo de tratamientos en los que se precisa un procedimiento complementario como la realización de una elevación de seno maxilar.

Por otra parte, debemos hacer énfasis que el análisis de los volúmenes se ha realizado de manera prequirúrgica, por lo que sería de gran interés comparar estas mediciones previas con el volumen obtenido tras la cirugía y poder valorar las posibles reabsorciones que puedan tener lugar.

En cuanto al empleo del software ITK-SNAP, existen estudios en la literatura en los que se ha utilizado para realizar mediciones del volumen de los senos maxilares, destacando el presentado por el equipo de Farias Gomes<sup>106</sup>, cuyo propósito principal fue el desarrollo y validación de una fórmula que permitiese la estimación sexual a través de mediciones en los senos maxilares en una población brasileña, mediante el uso de imágenes CBCT.

Otro estudio en el que es empleado este software es el publicado por el grupo de Adisen<sup>132</sup>, en el que evaluaron la eficacia de CBCT en la medición de volumen utilizando cavidades óseas de Stafne como ejemplo. El estudio fue realizado en una muestra de 14 individuos con cavidad idiopática de Stafne detectada en radiografías panorámicas. Con el fin de evaluar las dimensiones volumétricas de las lesiones, capturaron imágenes CBCT de cada paciente y el software ITK-SNAP 2.4.0, y midieron su volumen en mm<sup>3</sup>. Estos autores afirman que según los resultados

obtenidos en su estudio, esta técnica es eficaz para medir tamaños volumétricos de la cavidad idiopática de Stafne, aunque consideran que se necesitarían más estudios con tamaños de muestra más grandes para demostrar la utilidad de CBCT en las mediciones de volumen.

En cuanto a la dificultad que supone el conocimiento de manera preoperatoria de la cantidad de injerto necesaria en este tipo de cirugías, debemos destacar el trabajo publicado en 2017 por el equipo de Cruz<sup>133</sup>, en el que evaluaron la capacidad de los cirujanos para determinar la cantidad de material de injerto necesario para el aumento del suelo del seno maxilar en un análisis preoperatorio utilizando imágenes de tomografía computarizada de haz cónico. Seleccionaron una muestra de 10 exámenes CBCT retrospectivos realizados mediante el dispositivo i-CAT.

Emplearon imágenes de la zona del maxilar posterior con ausencia de al menos un diente y hueso alveolar residual con una altura de hasta 5 mm. Las plantillas (n = 20) contenían imágenes de secciones representativas en vista multiplanar. Diez cirujanos expertos participaron voluntariamente como evaluadores de las plantillas para la planificación quirúrgica del injerto de un implante de 10 mm de longitud. Los evaluadores podrían elegir una mejor cantidad de material de injerto utilizando puntuaciones: 0) cuando se considere que el injerto es innecesario, 1) para 0.25 g en material de injerto, 2) para 0.50 g, 3) para 1.00 g y 4) para 1.50 g o más. Realizaron un análisis de regresión para evaluar si el volumen de los senos (mm<sup>3</sup>) influyó en la elección de las puntuaciones. Observaron que los cirujanos no pudieron determinar de manera fiable la mejor cantidad de material de injerto para el aumento del suelo del seno maxilar usando solo imágenes CBCT. Estos autores consideran que los cirujanos necesitan herramientas de diagnóstico auxiliares para medir el volumen asociado a los exámenes CBCT con el fin de tener un mejor rendimiento.

Como hemos comentado anteriormente, el conocimiento de manera preoperatoria de la cantidad de material de injerto que va a ser necesaria en una cirugía de elevación de seno maxilar nos puede ser de gran ayuda para saber la cantidad de viales que tendremos que emplear en caso de la utilización de biomateriales o sustitutos óseos, pero también nos puede resultar de gran utilidad cuando vayamos a emplear hueso autólogo, ya que nos va a facilitar la elección de

la zona donante.

En cuanto a este último aspecto, debemos citar el estudio publicado en el 2012 por el equipo de Hemerson de Moraes<sup>130</sup>, en el que realizaron un análisis morfométrico del seno maxilar mediante la utilización de tomografías computarizadas y evaluaron la reconstrucción total del suelo sinusal. Emplearon un total de 22 cráneos (40 senos) con una edad comprendida entre 20 y 60 años, que presentaban ausencia del primer molar superior con el alveolo totalmente reparado. Les realizaron las TC, con cortes de 1mm. Emplearon el software Implant Viewer 2 (Anne Solutions) para la inserción de manera virtual de implantes de 4.1 x 11.5mm.

En la fase de inserción virtual del implante, efectuaron las mediciones añadiendo 1 mm de profundidad a la colocación del mismo. Efectuaron todas las mediciones necesarias y, posteriormente, realizaron los cálculos matemáticos correspondientes para establecer la cantidad de tejido óseo necesario para cubrir completamente el implante, obteniendo el volumen máximo que debería ser injertado para la instalación de uno o más implantes en base a una reconstrucción total del suelo sinusal.

Debemos mencionar que el método empleado en nuestro estudio, aunque requiere de un periodo de aprendizaje por parte del clínico, destaca por su sencillez, pues no es necesaria la realización de fórmulas matemáticas para la estimación del volumen de injerto, ya que el propio software nos lo va a proporcionar en mm<sup>3</sup>.

Por último, queremos resaltar que el cálculo prequirúrgico del volumen de injerto realizado mediante el empleo de imágenes CBCT en combinación con el software ITK-SNAP puede ser de gran utilidad en la planificación de una cirugía de elevación de seno maxilar, independientemente de la técnica seleccionada y del material de injerto que vayamos a aplicar.

**Limitaciones y futuras líneas de investigación**

La principal limitación del presente trabajo de investigación es el estrecho tamaño muestral y que todas las imágenes estudiadas pertenecen a pacientes de origen caucásico, por lo que las conclusiones descritas no son extrapolables a otros grupos étnicos.

En cuanto a las imágenes CBCT estudiadas, debemos mencionar que siguiendo los criterios de inclusión/exclusión establecidos en nuestro estudio, fueron excluidas todas aquellas que pudiesen presentar alteraciones anatómicas en esta región, ya fuera por cirugías previas o presencia de patologías, para evitar mediciones inexactas, minimizando así la aparición de posibles sesgos.

Como consecuencia de los resultados obtenidos, consideramos que las futuras líneas de investigación deberían estar orientadas a profundizar en el protocolo descrito, con el propósito de mejorar la planificación de una cirugía de elevación de seno maxilar.



## 7 CONCLUSIONES

Las conclusiones de nuestro trabajo de investigación han sido las siguientes:

### **Primera**

Los resultados de este estudio indican que la edad del paciente adulto no influye en el volumen total de los senos maxilares.

### **Segunda**

En relación al sexo, pudimos apreciar un volumen sinusal mayor en el grupo de los varones en el lado izquierdo con respecto al grupo de las mujeres.

### **Tercera**

En el cálculo del volumen de injerto a 13 mm, observamos que en ambos lados existe una correlación lineal inversa estadísticamente significativa entre el volumen del injerto y la altura de la cresta ósea remanente.

### **Cuarta**

En el cálculo del volumen de injerto a 13 mm, observamos que ni el sexo del paciente ni la anchura de la cresta ósea remanente influyen en el volumen del mismo.

### **Quinta**

El método basado en el empleo de imágenes CBCT y el software ITK.SNAP que hemos utilizado en el presente estudio nos permite realizar con precisión la determinación del volumen total de los senos maxilares y las dimensiones de los mismos.

### **Sexta**

Este protocolo nos permite conocer la cantidad de volumen de injerto necesario antes de iniciar la técnica quirúrgica de elevación de seno maxilar, estableciendo la utilización de implantes osteointegrados de 12 mm de longitud.



## 8 BIBLIOGRAFÍA

1. Heit O. Anatomía del Seno Maxilar. Importancia clínica de las arterias antrales y de los septum. Rev Col Odont Entre Ríos, 2017 N° 161:6-10 [www.coer.org.ar](http://www.coer.org.ar).
2. Delgadillo Ávila JR. Crecimiento y desarrollo del seno maxilar y su relación con las raíces dentarias. KIRU. 2005; 2 (1): 46-51.
3. Jun BC, Song SW, Park CS, Lee DH, Cho KJ, Cho JH. The analysis of maxillary sinus aeration according to aging process; volume assessment by 3-dimensional reconstruction by high-resolucional CT scanning. Otolaryngol Head Neck Surg. 2005 Mar;132(3):429-34. doi: 10.1016/j.otohns.2004.11.012. PMID: 15746857.
4. Uchida Y, Goto M, Katsuki T, Akiyoshi T. A cadaveric study of maxillary sinus size as an aid in bone grafting of the maxillary sinus floor. J Oral Maxillofac Surg. 1998;56(10):1158-1163. doi: 10.1016/S0278-2391(98)90761-3.
5. Uchida Y, Goto M, Katsuki T, Soejima Y. Measurement of maxillary sinus volume using computerized tomographic images. Int J Oral Maxillofac Implants. 1998;13:811-8.
6. Edward S. Cohen. Atlas de Cirugía Periodontal Cosmética y Reconstructiva- Tercera Edición. Año 2010. Actualidades Médico Odontológicas Latinoamérica, C.A. (AMOLCA).
7. Cosme Gay Escoda y Leonardo Berini Aytés. Cirugía Bucal. 1ª Edición. Año 1999. Ediciones Ergon, S.A. pag 218. Menarini.
8. González Mendoza E, Hernández Calva A. Consideraciones técnicas en la elevación activa del seno maxilar. Revisión de la literatura. Revista ADM 2015; 72 (1): 14-20.
9. Maridati P, Stoffella E, Speroni S, Cicciu M, Maiorana C. Alveolar antral artery isolation during sinus lift procedure with the double window technique. Open Dent J. 2014 May 30;8:95-103. doi: 10.2174/1874210601408010095. PMID: 24949106; PMCID: PMC4062959.
10. Mardinger O, Abba M, Hirshberg A, Schwartz-Arad D. Prevalence, diameter and course of the maxillary intraosseous vascular canal with relation to sinus augmentation procedure: a radiographic study. Int J Oral Maxillofac Surg. 2007

- Aug;36(8):735-8. doi: 10.1016/j.ijom.2007.05.005. Epub 2007 Jul 12. PMID: 17629462.
11. Rosano G, Taschieri S, Gaudy JF, Weinstein T, Del Fabbro M. Maxillary sinus vascular anatomy and its relation to sinus lift surgery. *Clin Oral Implants Res.* 2011 Jul;22(7):711-715. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02045.x. Epub 2010 Dec 9. PMID: 21143535.
  12. Lee J, Kang N, Moon YM, Pang EK. Radiographic study of the distribution of maxillary intraosseous vascular canal in Koreans. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2016 Jan 4;38(1):1. doi: 10.1186/s40902-015-0045-x. PMID: 26767186; PMCID: PMC4700055.
  13. Quispe-Damián DE, Valdivia-Frías EF, Mendoza-Azpur G, Salinas-Prieto E. Evaluación de la arteria alveolar superior posterior durante el levantamiento del seno maxilar con uso de la Tomografía Computarizada como diagnóstico. *Universidad Científica del Sur. Revista Científica Odontológica.* 2014;2(1):224-228.
  14. Butaric LN, McCarthy RC, Broadfield DC. A preliminary 3D computed tomography study of the human maxillary sinus and nasal cavity. *Am J Phys Anthropol.* 2010 Nov;143(3):426-36. doi: 10.1002/ajpa.21331. PMID: 20949613.
  15. Agacayak KS, Gulsun B, Koparal M, Atalay Y, Aksoy O, Adiguzel O. Alterations in maxillary sinus volume among oral and nasal breathers. *Med Sci Monit.* 2015 Jan 2;21:18-26. doi: 10.12659/MSM.891371. PMID: 25553770; PMCID: PMC4289671.
  16. Vinter I, Krmpotić-Nemanić J, Hat J, Jalsovec D. Verschwindet der Processus alveolaris des Oberkiefers immer nach dem Zähneausfall? [Does the alveolar process of the maxilla always disappear after tooth loss?]. *Laryngorhinootologie.* 1993 Dec;72(12):605-7. German. doi: 10.1055/s-2007-997963. PMID: 8141939.
  17. Kim MJ, Jung UW, Kim CS, Kim KD, Choi SH, Kim CK, Cho KS. Maxillary sinus septa: prevalence, height, location, and morphology. A reformatted computed tomography scan analysis. *J Periodontol.* 2006 May;77(5):903-8. doi: 10.1902/jop.2006.050247. PMID: 16671885.
  18. Park YB, Jeon HS, Shim JS, Lee KW, Moon HS. Analysis of the anatomy of the maxillary sinus septum using 3-dimensional computed tomography. *J Oral*

- Maxillofac Surg. 2011 Apr;69(4):1070-8. doi: 10.1016/j.joms.2010.07.020. Epub 2011 Jan 20. PMID: 21255895.
19. Deyan Neychev, Petya Kanazirska, Kiril Simitchiev & Georgi Yordanov (2017) CBCT images: an important tool in the analysis of anatomical variations of maxillary sinus related to Underwood septa features, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31:6, 1210-1215, DOI: 10.1080/13102818.2017.1369902.
  20. Farina R, Pramstraller M, Franceschetti G, Pramstraller C, Trombelli L. Alveolar ridge dimensions in maxillary posterior sextants: a retrospective comparative study of dentate and edentulous sites using computerized tomography data. *Clin Oral Implants Res*. 2011 Oct;22(10):1138-1144. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02087.x. Epub 2011 Feb 15. PMID: 21320169.
  21. Pramstraller M, Farina R, Franceschetti G, Pramstraller C, Trombelli L. Ridge dimensions of the edentulous posterior maxilla: a retrospective analysis of a cohort of 127 patients using computerized tomography data. *Clin Oral Implants Res*. 2011 Jan;22(1):54-61. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.01984.x. Epub 2010 Sep 10. Erratum in: *Clin Oral Implants Res*. 2011 Feb;22(2):235. PMID: 20831759.
  22. Shahidi S, Zamiri B, Momeni Danaei S, Salehi S, Hamedani S. Evaluation of Anatomic Variations in Maxillary Sinus with the Aid of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in a Population in South of Iran. *J Dent (Shiraz)*. 2016 Mar;17(1):7-15. PMID: 26966702; PMCID: PMC4771057.
  23. Ata-Ali J, Diago-Vilalta JV, Melo M, Bagán L, Soldini MC, Di-Nardo C, Ata-Ali F, Mañes-Ferrer JF. What is the frequency of anatomical variations and pathological findings in maxillary sinuses among patients subjected to maxillofacial cone beam computed tomography? A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2017 Jul 1;22(4):e400-e409. doi: 10.4317/medoral.21456. PMID: 28578369; PMCID: PMC5549512.
  24. Fortin T, Camby E, Alik M, Isidori M, Bouchet H. Panoramic images versus three-dimensional planning software for oral implant planning in atrophied posterior maxillary: a clinical radiological study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2013 Apr;15(2):198-204. doi: 10.1111/j.1708-8208.2011.00342.x. Epub 2011 Apr 7. PMID: 21477064.

25. Juluri R, Moran M, Suzuki JB, Khocht A. A comparison of computed tomography scans and digital periapical radiographs ridge height measurements. *J Oral Implantol*. 2015 Apr;41(2):125-31. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-12-00169. Epub 2013 Jan 31. PMID: 23368722.
26. Senel FC, Duran S, Icten O, Izbudak I, Cizmeci F. Assessment of the sinus lift operation by magnetic resonance imaging. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2006 Dec;44(6):511-4. doi: 10.1016/j.bjoms.2006.02.004. Epub 2006 Mar 15. PMID: 16540215.
27. Donado Rodríguez M, Martínez González J.M. *Cirugía bucal: Patología y Técnica*. 4ª Ed. Barcelona: Elsevier Masson; 2005.
28. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol*. 1998;8(9):1558-64. doi: 10.1007/s003300050586. PMID: 9866761.
29. Rahpeyma A, Khajehahmadi S. Open Sinus Lift Surgery and the Importance of Preoperative Cone-Beam Computed Tomography Scan: A Review. *J Int Oral Health*. 2015 Sep;7(9):127-33. PMID: 26435632; PMCID: PMC4589707.
30. Neugebauer J, Ritter L, Mischkowski RA, Dreiseidler T, Scherer P, Ketterle M, Rothamel D, Zöllner JE. Evaluation of maxillary sinus anatomy by cone-beam CT prior to sinus floor elevation. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2010 Mar-Apr;25(2):258-65. PMID: 20369083.
31. Van den Bergh JP, ten Bruggenkate CM, Disch FJ, Tuinzing DB. Anatomical aspects of sinus floor elevations. *Clin Oral Implants Res*. 2000 Jun;11(3):256-65. doi: 10.1034/j.1600-0501.2000.011003256.x. PMID: 11168217.
32. Ting M, Rice JG, Braid SM, Lee CYS, Suzuki JB. Maxillary Sinus Augmentation for Dental Implant Rehabilitation of the Edentulous Ridge: A Comprehensive Overview of Systematic Reviews. *Implant Dent*. 2017 Jun;26(3):438-464. doi: 10.1097/ID.0000000000000606. PMID: 28520572.
33. Tatum H Jr. Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dent Clin North Am*. 1986 Apr;30(2):207-29. PMID: 3516738.
34. Boyne PJ, James RA. Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *J Oral Surg*. 1980 Aug;38(8):613-6. PMID: 6993637.
35. Caamaño D, Padrón N, Martínez IM, Suárez JM. Cálculo prequirúrgico para determinar el volumen de injerto necesario en la técnica abierta de elevación de

- seno maxilar. RCOE: Revista del Ilustre Consejo General de Colegios de Odontólogos y Estomatólogos de España, ISSN 1138-123X, Vol 26, N° 1 (Marzo), 2021, págs. 238-244.
36. Al-Dajani M. Recent Trends in Sinus Lift Surgery and Their Clinical Implications. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2016 Feb;18(1):204-12. doi: 10.1111/cid.12275. Epub 2014 Oct 2. PMID: 25274014.
  37. Rahpeyma A, Khajehahmadi S. Indications for palatal sinus lift: Case series. *J Indian Soc Periodontol.* 2018 May-Jun;22(3):254-256. doi: 10.4103/jisp.jisp\_357\_17. PMID: 29962706; PMCID: PMC6009164.
  38. Tatum H Jr. Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dent Clin North Am.* 1986 Apr;30(2):207-29. PMID: 3516738.
  39. Summers RB. A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compendium.* 1994 Feb;15(2):152, 154-6, 158 passim; quiz 162. PMID: 8055503.
  40. Esfahanizadeh N, Rokn AR, Paknejad M, Motahari P, Daneshparvar H, Shamshiri A. Comparison of lateral window and osteotome techniques in sinus augmentation: histological and histomorphometric evaluation. *J Dent (Tehran).* 2012 Summer;9(3):237-46. Epub 2012 Sep 30. PMID: 23119133; PMCID: PMC3484828.
  41. Summers RB. The osteotome technique: Part 4--Future site development. *Compend Contin Educ Dent.* 1995 Nov;16(11):1090, 1092 passim; 1094-1096, 1098, quiz 1099. PMID: 8598008.
  42. Engelke W, Deckwer I. Endoscopically controlled sinus floor augmentation. A preliminary report. *Clin Oral Implants Res.* 1997 Dec;8(6):527-31. doi: 10.1034/j.1600-0501.1997.080612.x. PMID: 9555210.
  43. Torrella F, Pitarch J, Cabanes G, Anitua E. Ultrasonic ostectomy for the surgical approach of the maxillary sinus: a technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1998 Sep-Oct;13(5):697-700. PMID: 9796155.
  44. Vercellotti T, De Paoli S, Nevins M. The piezoelectric bony window osteotomy and sinus membrane elevation: introduction of a new technique for simplification of the sinus augmentation procedure. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2001 Dec;21(6):561-7. PMID: 11794567.
  45. Wallace SS, Mazor Z, Froum SJ, Cho SC, Tarnow DP. Schneiderian membrane perforation rate during sinus elevation using piezosurgery: clinical results of

- 100 consecutive cases. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2007 Oct;27(5):413-9. PMID: 17990437.
46. Troedhan A, Kurrek A, Wainwright M. Biological Principles and Physiology of Bone Regeneration under the Schneiderian Membrane after Sinus Lift Surgery: A Radiological Study in 14 Patients Treated with the Transcrestal Hydrodynamic Ultrasonic Cavitational Sinus Lift (Intralift). *Int J Dent.* 2012;2012:576238. doi: 10.1155/2012/576238. Epub 2012 Jun 17. PMID: 22754571; PMCID: PMC3382962.
47. Toscano NJ, Holtzclaw D, Rosen PS. The effect of piezoelectric use on open sinus lift perforation: a retrospective evaluation of 56 consecutively treated cases from private practices. *J Periodontol.* 2010 Jan;81(1):167-71. doi: 10.1902/jop.2009.090190. PMID: 20059429.
48. Cosci F, Luccioli M. A new sinus lift technique in conjunction with placement of 265 implants: a 6-year retrospective study. *Implant Dent.* 2000;9(4):363-8. doi: 10.1097/00008505-200009040-00014. PMID: 11307560.
49. Muronoi M, Xu H, Shimizu Y, Ooya K. Simplified procedure for augmentation of the sinus floor using a haemostatic nasal balloon. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2003 Apr;41(2):120-1. doi: 10.1016/s0266-4356(03)00040-8. PMID: 12694707.
50. Kfir E, Goldstein M, Abramovitz I, Kfir V, Mazor Z, Kaluski E. The effects of sinus membrane pathology on bone augmentation and procedural outcome using minimal invasive antral membrane balloon elevation. *J Oral Implantol.* 2014 Jun;40(3):285-93. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00253. PMID: 24914915.
51. Linde A, Thorén C, Dahlin C, Sandberg E. Creation of new bone by an osteopromotive membrane technique: an experimental study in rats. *J Oral Maxillofac Surg.* 1993 Aug;51(8):892-7. doi: 10.1016/s0278-2391(10)80111-9. PMID: 8393102.
52. Kao SY, Lui MT, Cheng DH, Chen TW. Lateral trap-door window approach with maxillary sinus membrane lifting for dental implant placement in atrophied edentulous alveolar ridge. *J Chin Med Assoc.* 2015 Feb;78(2):85-8. doi: 10.1016/j.jcma.2014.05.016. Epub 2014 Oct 3. PMID: 25287252.
53. Hegde R, Prasad K, Shroff KK. Maxillary sinus augmentation using sinus membrane elevation without grafts - A Systematic Review. *J Indian*

- Prosthodont Soc. 2016 Oct-Dec;16(4):317-322. doi: 10.4103/0972-4052.191289. PMID: 27746593; PMCID: PMC5062139.
54. Renouard F, Nisand D. Impact of implant length and diameter on survival rates. *Clin Oral Implants Res.* 2006 Oct;17 Suppl 2:35-51. doi: 10.1111/j.1600-0501.2006.01349.x. PMID: 16968380.
55. Fan T, Li Y, Deng WW, Wu T, Zhang W. Short Implants (5 to 8 mm) Versus Longer Implants (>8 mm) with Sinus Lifting in Atrophic Posterior Maxilla: A Meta-Analysis of RCTs. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2017 Feb;19(1):207-215. doi: 10.1111/cid.12432. Epub 2016 Jun 13. PMID: 27295262.
56. Kim YH, Choi NR, Kim YD. The factors that influence postoperative stability of the dental implants in posterior edentulous maxilla. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2017 Jan 5;39(1):2. doi: 10.1186/s40902-016-0100-2. PMID: 28101497; PMCID: PMC5218953.
57. Ridell A, Gröndahl K, Sennerby L. Placement of Brånemark implants in the maxillary tuber region: anatomical considerations, surgical technique and long-term results. *Clin Oral Implants Res.* 2009 Jan;20(1):94-8. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01491.x. PMID: 19126113.
58. Pi Urgell J, Revilla Gutiérrez V, Gay Escoda CG. Rehabilitation of atrophic maxilla: a review of 101 zygomatic implants. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2008 Jun 1;13(6):E363-70. PMID: 18521062.
59. Sorní M, Guarinos J, Peñarrocha M. Implants in anatomical buttresses of the upper jaw. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2005 Mar-Apr;10(2):163-8. English, Spanish. PMID: 15735549.
60. Tulasne JF. Implant treatment of missing posterior dentition. In: Al-brektsen T, Zarb G, editors. *The Brånemark osseointegrated implant.* Chicago: Quintessence; 1989. p. 103-15.
61. Balshi TJ, Wolfinger GJ, Balshi SF 2nd. Analysis of 356 pterygomaxillary implants in edentulous arches for fixed prosthesis anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1999 May-Jun;14(3):398-406. PMID: 10379114.
62. Bascones A, Cano J, Campo J, Chiapasco M. Distracción alveolar histogénica aplicada a la implantología oral. Ediciones Avances S.L. pag 40,41,42.
63. Bilbao A, Da Silva L, Caamaño D, Fernández J. Reubicación de un implante osteointegrado mediante distracción ósea. *Periodoncia* 2002; 12 (Nº 5) Fasc. 6:359-366.

64. Maestre-Ferrín L, Boronat-López A, Peñarrocha-Diago M, Peñarrocha-Diago M. Augmentation procedures for deficient edentulous ridges, using onlay autologous grafts: an update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2009 Aug 1;14(8):e402-7. PMID: 19415058.
65. Chiapasco M, Romeo E, Casentini P, Rimondini L. Alveolar distraction osteogenesis vs. vertical guided bone regeneration for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 1-3-year prospective study on humans. *Clin Oral Implants Res*. 2004 Feb;15(1):82-95. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.00999.x. PMID: 14731181.
66. Esposito M, Grusovin MG, Felice P, Karatzopoulos G, Worthington HV, Coulthard P. The efficacy of horizontal and vertical bone augmentation procedures for dental implants - a Cochrane systematic review. *Eur J Oral Implantol*. 2009 Autumn;2(3):167-84. PMID: 20467628.
67. Olate, S. Elevación del piso de seno maxilar para instalación de implantes dentales: Revisión de resultados de investigaciones asociadas. *Int. J. Med. Surg. Sci.*, 1(2):123-128, 2014.
68. Reininger D, Cobo-Vázquez C, Rosenberg B, López-Quiles J. Alternative intraoral donor sites to the chin and mandibular body-ramus. *J Clin Exp Dent*. 2017 Dec 1;9(12):e1474-e1481. doi: 10.4317/jced.54372. PMID: 29410765; PMCID: PMC5794127.
69. Hassani A, Khojasteh A, Shamsabad AN. The anterior palate as a donor site in maxillofacial bone grafting: a quantitative anatomic study. *J Oral Maxillofac Surg*. 2005 Aug;63(8):1196-200. doi: 10.1016/j.joms.2005.04.032. PMID: 16094590.
70. Rocha F, de Oliveira GR, Olate S, de Alergaria-Barbosa JR. Consideraciones clínicas en la obtención de injertos óseos intraorales. Técnica quirúrgica y evaluación de las complicaciones. *Av Periodon Implantol*. 2010; 22, 2: 71-76.
71. Sakkas A, Wilde F, Heufelder M, Winter K, Schramm A. Autogenous bone grafts in oral implantology-is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *Int J Implant Dent*. 2017 Dec;3(1):23. doi: 10.1186/s40729-017-0084-4. Epub 2017 Jun 1. PMID: 28573552; PMCID: PMC5453915.
72. Hallman M, Sennerby L, Lundgren S. A clinical and histologic evaluation of implant integration in the posterior maxilla after sinus floor augmentation with

- autogenous bone, bovine hydroxyapatite, or a 20:80 mixture. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2002 Sep-Oct;17(5):635-43. PMID: 12381063.
73. Yamamichi N, Itose T, Neiva R, Wang HL. Long-term evaluation of implant survival in augmented sinuses: a case series. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2008 Apr;28(2):163-9. PMID: 18546812.
74. Netto HD, Olate S, Klüppel L, do Carmo AM, Vásquez B, Albergaria-Barbosa J. Histometric analyses of cancellous and cortical interface in autogenous bone grafting. *Int J Clin Exp Pathol*. 2013 Jul 15;6(8):1532-7. PMID: 23923071; PMCID: PMC3726968.
75. Berberi A, Bouserhal L, Nader N, Assaf RB, Nassif NB, Bouserhal J, Salameh Z. Evaluation of Three-Dimensional Volumetric Changes After Sinus Floor Augmentation with Mineralized Cortical Bone Allograft. *J Maxillofac Oral Surg*. 2015 Sep;14(3):624-9. doi: 10.1007/s12663-014-0736-3. Epub 2014 Dec 24. PMID: 26225054; PMCID: PMC4511887.
76. Ortega-Mejia H, Estrugo-Devesa A, Saka-Herrán C, Ayuso-Montero R, López-López J, Velasco-Ortega E. Platelet-Rich Plasma in Maxillary Sinus Augmentation: Systematic Review. *Materials (Basel)*. 2020 Jan 30;13(3):622. doi: 10.3390/ma13030622. PMID: 32019255; PMCID: PMC7040697.
77. Klüppel LE, Antonini F, Olate S, Nascimento FF, Albergaria-Barbosa JR, Mazzonetto R. Bone repair is influenced by different particle sizes of an anorganic bovine bone matrix: a histologic and radiographic study in vivo. *J Craniofac Surg*. 2013 Jul;24(4):1074-7. doi: 10.1097/SCS.0b013e318286a0a3. PMID: 23851743.
78. Pignataro L, Mantovani M, Torretta S, Felisati G, Sambataro G. ENT assessment in the integrated management of candidate for (maxillary) sinus lift. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2008 Jun;28(3):110-9. PMID: 18646572; PMCID: PMC2644985.
79. Nolan PJ, Freeman K, Kraut RA. Correlation between Schneiderian membrane perforation and sinus lift graft outcome: a retrospective evaluation of 359 augmented sinus. *J Oral Maxillofac Surg*. 2014 Jan;72(1):47-52. doi: 10.1016/j.joms.2013.07.020. Epub 2013 Sep 24. PMID: 24071378.
80. Sammartino G, Mariniello M, Scaravilli MS. Benign paroxysmal positional vertigo following closed sinus floor elevation procedure: mallet osteotomes vs. screwable osteotomes. A triple blind randomized controlled trial. *Clin Oral*

- Implants Res. 2011 Jun;22(6):669-72. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.01998.x. Epub 2010 Nov 3. PMID: 21054553.
81. Reddy K S, Shivu ME, Billimaga A. Benign paroxysmal positional vertigo during lateral window sinus lift procedure: a case report and review. *Implant Dent.* 2015 Feb;24(1):106-9. doi: 10.1097/ID.0000000000000188. PMID: 25621557.
82. Petrocelli M, Sbordone C, Salzano G, Dell'Aversana Orabona G, Cassandro FM, Scarpa A, Ramaglia L, Iaconetta G, Califano L, Cassandro E. Benign Paroxysmal Positional Vertigo After Oral and Maxillofacial Surgery: Our Experience and Review of Literature. *J Maxillofac Oral Surg.* 2020 Dec;19(4):527-531. doi: 10.1007/s12663-019-01209-w. Epub 2019 Mar 22. PMID: 33071500; PMCID: PMC7524923.
83. Norton MR. Osteomyelitis-Induced Sequester of Bovine-Derived Bone Mineral/Host Bone Composite 8 Years Post-Sinus Graft: A Case Report. *Implant Dent.* 2016 Aug;25(4):552-5. doi: 10.1097/ID.0000000000000426. PMID: 27356197.
84. Tepper G, Haas R, Schneider B, Watzak G, Mailath G, Jovanovic SA, Busenlechner D, Zechner W, Watzek G. Effects of sinus lifting on voice quality. A prospective study and risk assessment. *Clin Oral Implants Res.* 2003 Dec;14(6):767-74. doi: 10.1046/j.0905-7161.2003.00957.x. PMID: 15015954.
85. Ariji Y, Kuroki T, Moriguchi S, Ariji E, Kanda S. Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography. *Dento Maxillo Facial Radiology.* 1994;23(3):163-168. doi:10.1259/dmfr.23.3.7835518.
86. Ariji Y, Ariji E, Yoshiura K, Kanda S. Computed tomographic indices for maxillary sinus size in comparison with the sinus volume. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996 Jan;25(1):19-24. doi: 10.1259/dmfr.25.1.9084281. PMID: 9084281.
87. Shahbazian M, Xue D, Hu Y, van Cleynenbreugel J, Jacobs R. Spiral computed tomography based maxillary sinus imaging in relation to tooth loss, implant placement and potential grafting procedure. *J Oral Maxillofac Res.* 2010 Apr 1;1(1):e7. doi: 10.5037/jomr.2010.1107. PMID: 24421963; PMCID: PMC3886045.
88. Kirmeier R, Arnetzl C, Robl T, Payer M, Lorenzoni M, Jakse N. Reproducibility of volumetric measurements on maxillary sinuses. *Int J Oral*

- Maxillofac Surg. 2011 Feb;40(2):195-9. doi: 10.1016/j.ijom.2010.10.008. Epub 2010 Nov 11. PMID: 21074367.
89. Deeb R, Malani PN, Gill B, Jafari-Khouzani K, Soltanian-Zadeh H, Patel S, Zacharek MA. Three-dimensional volumetric measurements and analysis of the maxillary sinus. *Am J Rhinol Allergy*. 2011 May-Jun;25(3):152-6. doi: 10.2500/ajra.2011.25.3605. Erratum in: *Am J Rhinol Allergy*. 2011 Jul-Aug;25(4):281. Gil, Baljinder [corrected to Gill, Baljinder]. PMID: 21679525.
90. Coronado C, Arriadaga O, Galdames IV. Easy and unbiased determination of the maxillary sinus volume. *Int J Morphol*. 2011;29(4):1375-8.
91. Przystańska A, Kulczyk T, Rewekant A, Sroka A, Jończyk-Potoczna K, Lorkiewicz-Muszyńska D, Gawriolek K, Czajka-Jakubowska A. Introducing a simple method of maxillary sinus volume assessment based on linear dimensions. *Ann Anat*. 2018 Jan;215:47-51. doi: 10.1016/j.aanat.2017.09.010. Epub 2017 Sep 28. PMID: 28963046.
92. Giacomini G, Pavan ALM, Altemani JMC, Duarte SB, Fortaleza CMCB, Miranda JRA, de Pina DR. Computed tomography-based volumetric tool for standardized measurement of the maxillary sinus. *PLoS One*. 2018 Jan 5;13(1):e0190770. doi: 10.1371/journal.pone.0190770. PMID: 29304130; PMCID: PMC5755892.
93. Möhlhenrich SC, Heussen N, Peters F, Steiner T, Hölzle F, Modabber A. Is the Maxillary Sinus Really Suitable in Sex Determination? A Three-Dimensional Analysis of Maxillary Sinus Volume and Surface Depending on Sex and Dentition. *J Craniofac Surg*. 2015 Nov;26(8):e723-6. doi: 10.1097/SCS.0000000000002226. PMID: 26594986.
94. Radulesco T, Michel J, Mancini J, Dessi P, Adalian P. Sex Estimation from Human Cranium: Forensic and Anthropological Interest of Maxillary Sinus Volumes. *J Forensic Sci*. 2018 May;63(3):805-808. doi: 10.1111/1556-4029.13629. Epub 2017 Aug 23. PMID: 28834545.
95. Teke HY, Duran S, Canturk N, Canturk G. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans. *Surg Radiol Anat*. 2007 Feb;29(1):9-13. doi: 10.1007/s00276-006-0157-1. Epub 2006 Dec 14. PMID: 17171233.
96. Bangi BB, Ginjupally U, Narendla LK, Vadla B. 3D Evaluation of Maxillary Sinus Using Computed Tomography: A Sexual Dimorphic Study. *Int J Dent*.

- 2017;2017:9017078. doi: 10.1155/2017/9017078. Epub 2017 Apr 4. PMID: 28473853; PMCID: PMC5394890.
97. Pinsky HM, Dyda S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. *Dentomaxillofac Radiol*. 2006 Nov;35(6):410-6. doi: 10.1259/dmfr/20987648. PMID:17082331.
98. Ahlowalia MS, Patel S, Anwar HM, Cama G, Austin RS, Wilson R. Accuracy of CBCT for volumetric measurement of simulated periapical lesions. *Int Endod J*. 2013;46:538–46. [PubMed] [Google Scholar].
99. Tolstunov L, Thai D, Arellano L. Implant-guided volumetric analysis of edentulous maxillary bone with cone-beam computerized tomography scan. Maxillary sinus pneumatization classification. *J Oral Implantol*. 2012 Aug;38(4):377-90. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00212. PMID: 22913308.
100. Gulec M, Tassoker M, Magat G, Lale B, Ozcan S, Orhan K. Three-dimensional volumetric analysis of the maxillary sinus: a cone-beam computed tomography study. *Folia Morphol (Warsz)*. 2020;79(3):557-562. doi: 10.5603/FM.a2019.0106. Epub 2019 Sep 30. PMID: 31565786.
101. Luz J, Greutmann D, Wiedemeier D, Rostetter C, Rücker M, Stadlinger B. 3D-evaluation of the maxillary sinus in cone-beam computed tomography. *Int J Implant Dent*. 2018 Jun 5;4(1):17. doi: 10.1186/s40729-018-0128-4. PMID: 29869022; PMCID: PMC5986688.
102. Hamdy RM, Abdel-Wahed N. Three-dimensional linear and volumetric analysis of maxillary sinus pneumatization. *J Adv Res*. 2014;5(3):387-395. doi: 10.1016/j.jare.2013.06.006.
103. Schriber M, Bornstein MM, Suter VGA. Is the pneumatisation of the maxillary sinus following tooth loss a reality? A retrospective analysis using cone beam computed tomography and a customised software program. *Clin Oral Investig*. 2019 Mar;23(3):1349-1358. doi: 10.1007/s00784-018-2552-5. Epub 2018 Jul 17. PMID: 30014166.
104. Saccucci M, Cipriani F, Carderi S, Di Carlo G, D'Attilio M, Rodolfo D, Festa F, Polimeni A. Gender assessment through three-dimensional analysis of maxillary sinuses by means of cone beam computed tomography. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2015;19(2):185-93. PMID: 25683929.
105. Paknahad M, Shahidi S, Zarei Z. Sexual Dimorphism of Maxillary Sinus Dimensions Using Cone-Beam Computed Tomography. *J Forensic Sci*. 2017

- Mar;62(2):395-398. doi: 10.1111/1556-4029.13272. Epub 2016 Nov 16. PMID: 27864961.
106. Farias Gomes A, de Oliveira Gamba T, Yamasaki MC, Groppo FC, Haiter Neto F, Possobon RF. Development and validation of a formula base don maxillary sinus measurements as a tool for sex estimation: a cone beam computed tomography study. *Int J Legal Med.* 2019 Jul;133(4):1241-1249. doi: 10.1007/s00414-018-1869-6. Epub 2018 Jun 25. PMID:29943120.
107. Caamaño Martínez D, Padrón González N, Martínez Silva IM, Suárez Quintanilla JM. Calculation Of The Total Volume Of The Maxillary Sinuses Using CBCT Images And ITK-SNAP Software. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)* e-ISSN: 2279-0853, p-ISSN: 2279-0861. Volume 22, Issue 6 Ser.6 (June. 2023), PP 14-20. Doi: 10.9790/0853-2206061420.
108. Gaggl A, Schultes G, Santler G, Kärcher H. Treatment planning for sinus lift augmentations through use of 3-dimensional milled models derived from computed tomography scans: a report of 3 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;86:388-92.
109. Krennmair G, Krainhöfner M, Maier H, Weinländer M, Piehslinger E. Computerized tomography-assisted calculation of sinus augmentation volume. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006;21:907-13.
110. Dakhli I, Abdelsalam Z, Salem D, Omar G. Validity of tridimensional CT study of maxillary sinus reconstruction in potential implant site. *Cairo Dental Journal.* 2009 Sept 25 (3): 329-336.
111. Arias-Irimia O, Barona-Dorado C, Martínez-Rodríguez N, Ortega-Aranegui R, Martínez-González JM. Pre-operative evaluation of the volume of bone graft in sinus lifts by means of CompuDent. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2010 May 1;15 (3):e512-6.
112. Arias-Irimia O, Barona Dorado C, Gómez Moreno G, Brinkmann JC, Martínez-González JM. Pre-operative measurement of the volumen of bone graft in sinus lifts using CompuDent. *Clin Oral Implants Res.* 2012 Sep;23(9):1070-4. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02267.x. Epub 2011 Sep 28. PMID:22092647.

113. DicomCleaner™. <http://www.dclunie.com/pixelmed/software/webstart/DicomCleanerUsage.html>.
114. [www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php?n=Main.HomePage](http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php?n=Main.HomePage).
115. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, Gerig G. User-guided 3d active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*. 2006 Jul;31(3):1116-1128. [PubMed] [Google Scholar].
116. Lorkiewicz-Muszyńska D, Kociemba W, Rewekant A, Sroka A, Jończyk-Potoczna K, Patelska-Banaszewska M, Przysańska A. Development of the maxillary sinus from birth to age 18. Postnatal growth pattern. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2015 Sep;79(9):1393-400. doi: 10.1016/j.ijporl.2015.05.032. Epub 2015 Jun 30. PMID: 26162781.
117. Epidat: programa para análisis epidemiológico de datos. Versión 4.2, julio 2016. Consellería de Sanidade, Xunta de Galicia, España; Organización Panamericana de la salud (OPS-OMS); Universidad CES, Colombia.
118. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
119. Jun BC, Song SW, Park CS, Lee DH, Cho KJ, Cho JH. The analysis of maxillary sinus aeration according to aging process; volume assessment by 3-dimensional reconstruction by high-resolutional CT scanning. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2005 Mar;132(3):429-34. doi: 10.1016/j.otohns.2004.11.012. PMID: 15746857.
120. Park IH, Song JS, Choi H, Kim TH, Hoon S, Lee SH, Lee HM. Volumetric study in the development of paranasal sinuses by CT imaging in Asian: a pilot study. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2010 Dec;74(12):1347-50. doi: 10.1016/j.ijporl.2010.08.018. Epub 2010 Sep 21. PMID: 20863577.
121. Sahlstrand-Johnson P, Jannert M, Strömbeck A, Abul-Kasim K. Computed tomography measurements of different dimensions of maxillary and frontal sinuses. *BMC Med Imaging*. 2011 Apr 5;11:8. doi: 10.1186/1471-2342-11-8. PMID: 21466703; PMCID: PMC3080316.
122. Cohen O, Warman M, Fried M, Shoffel-Havakuk H, Adi M, Halperin D, Lahav Y. Volumetric analysis of the maxillary, sphenoid and frontal sinuses: A

- comparative computerized tomography based study. *Auris Nasus Larynx*. 2018 Feb;45(1):96-102. doi: 10.1016/j.anl.2017.03.003. Epub 2017 Mar 22. PMID: 28341352.
123. Bornstein MM, Ho JKC, Yeung AWK, Tanaka R, Li JQ, Jacobs R. A Retrospective Evaluation of Factors Influencing the Volume of Healthy Maxillary Sinuses Based on CBCT Imaging. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2019 Mar/Apr;39(2):187-193. doi: 10.11607/prd.3722. PMID: 30794254.
124. Velasco-Torres M, Padiál-Molina M, Avila-Ortiz G, Garcia-Delgado R, O'Valle F, Catena A, et al. Maxillary sinus dimensions decrease as age and tooth loss increase. *Implant Dent*. 2017;26(2):288-295. doi: 10.1097/ID.0000000000000551.
125. Baciut M, Hedesiu M, Bran S, Jacobs R, Nackaerts O, Baciut G. Pre- and postoperative assessment of sinus grafting procedures using cone-beam computed tomography compared with panoramic radiographs. *Clin Oral Implants Res*. 2013 May;24(5):512-6. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02408.x. Epub 2012 Jan 6. PMID: 22220751.
126. Loubele M, Jacobs R, Maes F, Denis K, White S, Coudyzer W, Lambrichts I, van Steenberghe D, Suetens P. Image quality vs radiation dose of four cone beam computed tomography scanners. *Dentomaxillofac Radiol*. 2008 Sep;37(6):309-18. doi: 10.1259/dmfr/16770531. PMID: 18757715.
127. Chau AC, Fung K. Comparison of radiation dose for implant imaging using conventional spiral tomography, computed tomography, and cone-beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009 Apr;107(4):559-65. doi: 10.1016/j.tripleo.2008.11.009. Epub 2009 Jan 25. PMID: 19168378.
128. Simion M, Fontana F, Rasperini G, Maiorana C. Long-term evaluation of osseointegrated implants placed in sites augmented with sinus floor elevation associated with vertical ridge augmentation: a retrospective study of 38 consecutive implants with 1- to 7-year follow-up. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2004 Jun;24(3):208-21. PMID: 15227769.
129. Kamal D, Abida S, Jammot P, Goudot P, Yachouh J. Devenir des implants après chirurgie préimplantaire [Outcome of oral implants after autogenous bone

- reconstruction]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2009 Apr;110(2):86-8. French. doi: 10.1016/j.stomax.2008.12.004. Epub 2009 Mar 26. PMID:19327803.
130. Paulo Hemerson de Moraes,; Marcelo Victor Omena Caldas Costa; Sergio Olate; Paulo Henrique Ferreira Caria, José Ricardo de Albergaria Barbosa. Estudio Morfométrico del Seno Maxilar mediante Tomografías Computadorizadas. Evaluación de la reconstrucción total de Piso Sinusal. *Int. J. Morphol.*,30(2):592-598,2012.
131. Buyukkurt MC, Tozoglu S, Yavuz MS, Aras MH. Simulation of sinus floor augmentation with symphysis bone graft using three-dimensional computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2010 Aug;39(8):788-92. doi: 10.1016/j.ijom.2010.04.005. Epub 2010 May.
132. Adisen MZ, Yilmaz S, Misirlioglu M, Atil F. Evaluation of volumetric measurements on CBCT images using stafne bone cavities as an example. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2015 Sep 1;20(5):e580-6. doi: 10.4317/medoral.20633. PMID: 26116844; PMCID: PMC4598927.
133. Cruz AD, Peixoto GA, Aguiar MF, Camargo GACG, Homs N. Surgeons' Performance Determining the Amount of Graft Material for Sinus Floor Augmentation Using Tomography. *Braz Dent J*. 2017 May-Jun;28(3):385-390. doi: 10.1590/0103-6440201601442. PMID: 29297561.



## 9 ANEXOS

## 9.1 INFORME DEL COMITÉ DE BIOÉTICA



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN  
E INNOVACIÓN  
Oficina de Investigación e Tecnoloxía  
Servizo de Convocatorias e Recursos Humanos de I+S  
Edificio CACTUS – Campus Vida  
15782 Santiago de Compostela  
Tel: 981 547 040 - Fax 981 547 077  
Correo electrónico: [cp@biouusc.es](mailto:cp@biouusc.es)  
<http://i+dsd.usc.es>

JOSÉ MANUEL CIFUENTES MARTÍNEZ, PRESIDENTE DEL COMITÉ DE BIOÉTICA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA,

### INFORMA:

Que el proyecto de investigación: “Cálculo preoperatorio del volumen de injerto necesario en cirugía de elevación de seno maxilar”, del que es investigador principal D. Domingo Caamaño Martínez, ha sido examinado por el Comité de Bioética de esta Universidad, cumpliendo su protocolo experimental los requisitos éticos exigidos.

Este documento no exige de la obtención de permisos o autorizaciones y el cumplimiento de otras normativas de aplicación.

Lugo, 27 de noviembre de 2018.

## 9.2 CONSENTIMIENTO INFORMADO



Radioloxía-Odontoloxía  
Facultade de Medicina e Odontoloxía  
Entroncamento  
15782 Santiago de Compostela  
Tél. 981181238/1

Nome e apelidos do paciente (ou tutor legal se procede): \_\_\_\_\_

### CLÁUSULA DE INFORMACIÓN A PACIENTES

De conformidade co Regulamento UE 2016/679 e a Lei Orgánica 3/2018 proporciónase información básica do tratamento de datos de "Xestión de pacientes e historias clínicas de Odontoloxía" pola Universidade de Santiago de Compostela (USC).

<b>Entidade</b>	Universidade de Santiago de Compostela
<b>Responsable do ficheiro</b>	Vicerreitor de Investigación e Innovación
<b>Finalidade</b>	Xestión de datos da historia clínica, médica e odontolóxica do paciente para o seguimento deste, xestión da actividade odontolóxica, docente, de investigación, estudos de morbilidade e produción de estatística de xestión
<b>Lexitimación</b>	Consentimento do interesado
<b>Destinatarios</b>	Non se cederán nin transferirán datos persoais a terceiros, salvo obriga legal
<b>Dereitos</b>	Acceder, rectificar e suprimir datos, limitar o seu tratamento, opoñerse ao mesmo e portabilidade dos datos
<b>Información adicional</b>	Pódese consultar información adicional na política de privacidade e protección de datos aloxada en <a href="http://www.usc.es/gl/normativa/protecciondatos/index.html">http://www.usc.es/gl/normativa/protecciondatos/index.html</a>

En Santiago, a \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

### 9.3 ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dispositivo i-CAT empleado en la adquisición de las imágenes CBCT.....	67
<b>Figura 2.</b> Imagen que muestra el proceso de anonimización de las imágenes.....	70
<b>Figura 3.</b> Búsqueda de la imagen con la que queremos trabajar.....	71
<b>Figura 4.</b> Apertura de la imagen seleccionada anteriormente.....	72
<b>Figura 5.</b> Cortes axial, sagital y coronal.....	72
<b>Figura 6.</b> Casilla “Line and Ruler Mode”.....	73
<b>Figura 7.</b> Cresta ósea remanente del lado derecho.....	74
<b>Figura 8.</b> Cresta ósea remanente del lado izquierdo.....	74
<b>Figura 9.</b> Anchura de la cresta ósea remanente del lado derecho.....	75
<b>Figura 10.</b> Anchura de la cresta ósea remanente del lado izquierdo.....	75
<b>Figura 11.</b> Altura de ambos senos maxilares.....	76
<b>Figura 12.</b> Anchura de ambos senos maxilares.....	76
<b>Figura 13.</b> Longitud de ambos senos maxilares.....	77
<b>Figura 14.</b> Distancia máxima entre ambos senos maxilares.....	77
<b>Figura 15.</b> Distancia entre los agujeros infraorbitarios.....	78
<b>Figura 16.</b> Casilla correspondiente a la herramienta “Snake ROI Tool”.....	79
<b>Figura 17.</b> Selección de la región de interés (ROI).....	79
<b>Figura 18.</b> Casilla correspondiente al editor de etiquetas (“Label Editor”).....	80
<b>Figura 19.</b> Selección de los diferentes colores asignados a cada seno maxilar.....	80
<b>Figura 20.</b> Casilla “Segment 3D” en el margen izquierdo del monitor.....	81
<b>Figura 21.</b> Selección de los parámetros adecuados para realizar el proceso de segmentación.....	82
<b>Figura 22.</b> Proceso de llenado mediante burbujas.....	82
<b>Figura 23.</b> Imagen correspondiente al seno maxilar derecho segmentado.....	83
<b>Figura 24.</b> Selección de la región de interés (ROI).....	83
<b>Figura 25.</b> Selección de los parámetros adecuados para realizar el proceso de segmentación.....	84

<b>Figura 26.</b> Proceso de llenado mediante burbujas.....	84
<b>Figura 27.</b> Imagen correpondiente a ambos senos maxilares segmentados.....	85
<b>Figura 28.</b> Volumen de ambos senos maxilares expresados en mm <sup>3</sup> .....	85
<b>Figura 29.</b> Selección de la región de interés (ROI) en el seno maxilar derecho.....	87
<b>Figura 30.</b> Parámetros seleccionados para realizar el proceso de segmentación.....	88
<b>Figura 31.</b> Proceso de llenado mediante burbujas.....	88
<b>Figura 32.</b> Imagen correpondiente al injerto calculado.....	89
<b>Figura 33.</b> Selección de la región de interés (ROI) en el seno maxilar izquierdo.....	89
<b>Figura 34.</b> Parámetros seleccionados para realizar el proceso de segmentación.....	90
<b>Figura 35.</b> Proceso de llenado mediante burbujas.....	90
<b>Figura 36.</b> Imagen correpondiente a los injertos calculados en ambos senos maxilares.....	91
<b>Figura 37.</b> Volumen de ambos injertos calculados en ambos senos maxilares expresados en mm <sup>3</sup> .....	91

## 9.4 ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

<b>Gráfico 1.</b> Número de dientes ausentes en mujeres y varones en el lado derecho.....	95
<b>Gráfico 2.</b> Número de dientes ausentes en mujeres y varones en el lado izquierdo.....	95
<b>Gráfico 3.</b> Altura de la cresta ósea remanente del lado derecho en ambos sexos.....	96
<b>Gráfico 4.</b> Altura de la cresta ósea remanente del lado izquierdo en ambos sexos.....	97
<b>Gráfico 5.</b> Anchura de la cresta ósea remanente del lado derecho en ambos sexos.....	98
<b>Gráfico 6.</b> Anchura de la cresta ósea remanente del lado izquierdo en ambos sexos.....	98
<b>Gráfico 7.</b> Altura del seno maxilar derecho en ambos sexos.....	99
<b>Gráfico 8.</b> Altura del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.....	100
<b>Gráfico 9.</b> Anchura del seno maxilar derecho en ambos sexos.....	101
<b>Gráfico 10.</b> Anchura del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.....	101
<b>Gráfico 11.</b> Longitud del seno maxilar derecho en ambos sexos.....	102
<b>Gráfico 12.</b> Longitud del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.....	103
<b>Gráfico 13.</b> Distancia máxima entre ambos senos maxilares en ambos sexos.....	104
<b>Gráfico 14.</b> Distancia entre agujeros infraorbitarios en ambos sexos.....	104
<b>Gráfico 15.</b> Volumen total del seno maxilar derecho en ambos sexos.....	105
<b>Gráfico 16.</b> Volumen total del seno maxilar izquierdo en ambos sexos.....	106
<b>Gráfico 17.</b> Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar derecho y su relación con el número de dientes ausentes en ese lado.....	109
<b>Gráfico 18.</b> Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar izquierdo y su relación con el número de dientes ausentes en ese lado.....	109
<b>Gráfico 19.</b> Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar derecho según edad.....	110

<b>Gráfico 20.</b> Distribución de los volúmenes obtenidos en el seno maxilar izquierdo según edad.....	110
<b>Gráfico 21.</b> Volúmenes de los senos maxilares derechos obtenidos en mujeres y varones.....	111
<b>Gráfico 22.</b> Volúmenes de los senos maxilares izquierdos obtenidos en mujeres y varones.....	111
<b>Gráfico 23.</b> Relación entre la edad de los pacientes y el volumen obtenido en el seno maxilar derecho.....	112
<b>Gráfico 24.</b> Relación entre la edad de los pacientes y el volumen obtenido en el seno maxilar izquierdo.....	112
<b>Gráfico 25.</b> Distribución de los valores correspondientes a los volúmenes de injerto obtenidos en el lado derecho según el sexo.....	114
<b>Gráfico 26.</b> Distribución de los valores correspondientes a los volúmenes de injerto obtenidos en el lado izquierdo según el sexo.....	114
<b>Gráfico 27.</b> Distribución de los valores correspondientes a la altura de la cresta ósea remanente obtenido en el lado derecho según el sexo.....	115
<b>Gráfico 28.</b> Distribución de los valores correspondientes a la altura de la cresta ósea remanente obtenido en el lado izquierdo según el sexo.....	116
<b>Gráfico 29.</b> Distribución de los valores correspondientes a la anchura de la cresta ósea remanente obtenidos en el lado derecho según el sexo.....	117
<b>Gráfico 30.</b> Distribución de los valores correspondientes a la anchura de la cresta ósea remanente obtenidos en el lado izquierdo según el sexo.....	117
<b>Tabla 1.</b> Ejemplo del sistema de nomenclatura utilizado.....	69
<b>Tabla 2.</b> Se muestran los valores de las mediciones efectuadas en relación al volumen total y dimensiones de los senos maxilares.....	108
<b>Tabla 3.</b> Se muestran los valores de las mediciones efectuadas en relación al volumen de injerto.....	119

## 9.5 ARTÍCULOS PUBLICADOS

### 9.5.1 Artículo nº1

*IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)*  
*e-ISSN: 2279-0853, p-ISSN: 2279-0861. Volume 22, Issue 6 Ser.6 (June. 2023), PP 14-20*  
[www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)

#### Calculation Of The Total Volume Of The Maxillary Sinuses Using CBCT Images And ITK-SNAP Software.

Caamaño Martínez, Domingo.

*DDS from University of Santiago de Compostela. Master in Restorative Dentistry and Endodontics (USC).  
 University Specialist in Oral Implantology (USC). Diploma of Advanced Studies (USC).*

Padrón González, Natalia

*DDS from University of Santiago de Compostela. Postgraduate Diploma in Patients with Special needs (USC).  
 Diploma of Advanced Studies (USC).*

Martínez Silva, Isabel María.

*Graduated in Mathematics from the University of Santiago de Compostela.*

Suárez Quintanilla, José María.

*Titular Professor of Oral Surgery. University of Santiago de Compostela.*

#### Abstract

**Purpose:** The objective of this study is the analysis of the reliability of the ITK-SNAP software in calculating the total volume of the maxillary sinuses, as well as their visualization in 3D.

**Materials and Methods:** A total of 68 patients were included in this study, 26 men and 42 women, with an age between 40 and 76 years. A total of 129 maxillary sinuses were studied.

**Results:** In the right maxillary sinus, the minimum value was 2648 mm<sup>3</sup>, the maximum value was 29650 mm<sup>3</sup>, and the mean was 13978 mm<sup>3</sup>. In the left maxillary sinus, the minimum value was 3246 mm<sup>3</sup>, the maximum value was 27200 mm<sup>3</sup>, and the mean was 14950 mm<sup>3</sup>.

**Conclusion:** The ITK-SNAP software is a useful tool in calculating the total volume of the maxillary sinus, due to its effectiveness in measurements, its speed and simplicity, as well as the 3D image it provides.

**Keywords:** Maxillary sinus; ITK-SNAP; Volume of maxillary sinus; CBCT; Volumetric analysis.

Date of Submission: 01-06-2023

Date of Acceptance: 10-06-2023

#### I. Introduction

One of the methods that currently exist to calculate the volume of the maxillary sinuses consists of taking measurements on images obtained by Computed Axial Tomography (CT) or by Cone Beam Computed Tomography (CBCT). Studies published in this regard, was the one carried out by Arijji et al.<sup>1</sup> in 1994, in which they measured the normal volume of the maxillary sinus by means of axial CT in 115 cases, and analyzed the relationship with age, presence of premolars and molars, size of the facial skeleton, and height and width of the body. In 1996, Arijji et al.<sup>2</sup> published a study that aimed to determine the normal range of maxillary sinus size and its changes with age using computed tomography (CT).

In 1998, Uchida et al.<sup>3</sup> published a study that aimed to measure maxillary sinus size in 32 cadavers, or a total of 59 sinuses, to be used as an aid to determine bone graft volume before surgery. These authors published a similar work in the same year, in which they studied a total of 38 sinuses using CT and 3D reconstruction<sup>4</sup>.

Other studies published on the calculation of the volume of the maxillary sinuses using images obtained by CT scan are the published in 2010 by Shahbazian et al.<sup>5</sup> who analyzed the anatomy of the maxillary sinus, its variations and volume using spiral computer tomography scans. Kirmeier et al.<sup>6</sup> in 2011, tested a semi-automatic virtual volumetric analysis technique on 36 computed tomography scans of human maxillary sinuses. They state that this computed tomography measurement procedure could be strongly recommended for clinical applications to reliably determine human maxillary sinus volume. In that same year, Deeb et al.<sup>7</sup> used images obtained by CT scan to study sinus volume in patients with chronic rhinosinusitis.

Other authors used this type of images with different purposes, such as the prevalence, location, size and course of the anastomosis between the dental branch of the posterior superior alveolar artery (PSAA), known as alveolar antral artery (AAA), and the infraorbital artery (IOA)<sup>8,9</sup> or the sex determination by morphometric analysis of the maxillary sinus<sup>10</sup>.

*Calculation of the total volume of the maxillary sinuses using CBCT images and ITK-SNAP software.*

Recently, the use of images obtained by CT scan for the study of the maxillary sinus has been replaced by images obtained by Cone Beam Computed Tomography. We can find in the literature several articles that use this type of CBCT images for the study of different aspects of the maxillary sinus, such as the analysis of possible anatomical variations<sup>11</sup>, their pneumatization<sup>12,13</sup>, as well as the effect that the patient's age and sex may have on sinus volume<sup>14</sup>, the 3D-evaluation of the maxillary sinus<sup>15</sup>, and the individual's sexual determination through volumetric analysis of the maxillary sinuses<sup>16,17,18</sup>.

The purpose of this study is to analyze the reliability of the ITK-SNAP software as a tool to calculate the total volume of the maxillary sinuses, as well as to visualize them in 3D. We consider that it can be useful both from a clinical point of view, since it helps us in the diagnosis and in the planning of a treatment, as from the anatomical point of view, since it allows us a greater knowledge of the maxillary sinuses.

## II. Material and methods

The images obtained by performing cone beam computed tomography (CBCT) that we used in this study belong to the data file of the Radiology Unit of the Faculty of Dentistry of the University of Santiago de Compostela, which were performed for diagnostic purposes, prior signature by the patients of the timely informed consent.

All patient data was processed in accordance with the provisions of Organic Law 3/2018 on the Protection of Personal Data and guarantee of digital rights. The data were taken between 27 January 2019 and 14 February 2020.

This study was examined by the Bioethics Committee of the University of Santiago de Compostela, ruling that the experimental protocol meets the ethical requirements. This study has been carried out according to the STROBE guidelines.

### Selection of patients.

A total of 68 patients were included, 26 men and 42 women, with an age between 40 and 76 years. A total of 129 maxillary sinuses were studied. To select the images that were included in this study, we defined the following inclusion and exclusion criteria:

#### -Inclusion criteria

- Patients who present partially or totally edentulous posterior sectors at the level of the maxilla, and may be unilateral or bilateral.
- These patients who gave their consent for their diagnostic images to be used in research work were part of this study.

#### -Exclusion criteria:

- Patients with cystic or tumor pathology in this region.
- Patients who have undergone any surgical intervention in the area, including the presence of dental implants at this level.
- Patients with large defects, malformations and / or large asymmetries in these regions.

### Radiographic study.

CBCTs were taken using the i-CAT device (Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA), with exposure parameters of 120 kVp and 5 mA, acquisition time of 14.7 s and variable reconstruction, with voxel size of 0.25 mm and FOV (Field of View) of 16 cm (diameter) x variable height (4 to 7 cm).

### Anonymization of data.

Once we selected the CBCT that met the requirements for our study, and in accordance with the current regulations of the data protection law, we proceeded to anonymize the personal data that may appear reflected in it. For this we used DicomCleaner TM software, which is a free open source tool with a user interface for importing, cleaning and saving DICOM files.

### Carrying out measurements.

To carry out the measurements, we used the ITK-SNAP program, which is a software application used to segment structures in 3D medical images. It is the product of a decade of collaboration between Paul Yushkevich, Ph.D., of the Penn Image Computing and Science Laboratory (PICS) at the University of Pennsylvania, and Guido Gerig, Ph.D., from the Scientific Computing and Imaging Institute (SCI) at the University of Utah. ITK-SNAP is free, open source, and cross-platform. Provides semi-automatic segmentation using active contour methods, as well as manual delineation and image navigation<sup>19</sup>.

*Calculation of the total volume of the maxillary sinuses using CBCT images and ITK-SNAP software.*

This software allows visualization in different planes (axial, coronal and sagittal) and image manipulation, optimized by three-dimensional reconstructions. In our study, we used the ITK-SNAP 3.6.0 version, referred to on its website as the “stable version”. To download it, we simply follow the instructions they show us on their website.

In order to start working with a CBCT, we will go to the “open main image” section selecting the desired case. Once we import the image in DICOM format, we select the image we want to work with. When the image is open, we proceed to select the sections in which the anatomical area to be studied is correctly appreciated, in this case we are showing the right maxillary sinus as an example. We then use the “Snake ROI tool”, which is used to select the region of interest for the semi-automatic active contour segmentation, and start the semi-automatic segmentation wizard. In this case, its limits were the walls of the right maxillary sinus (anterior, posterior, lateral, medial, superior and inferior) (Fig. 1a).

A square will appear that we must adapt to the anatomical area that we want to segment.

Next, we go to the “Segmentation” box, and among the options that it shows us, we will select the “Label Editor” section. Once the labeling has been carried out correctly, we will go to the “Segment 3D” key to start the semi-automatic segmentation process.

The images corresponding to the anatomical areas that are within the previously established limits will appear.

We will then proceed to adjust the upper and lower threshold values as well as the smoothness. In this case, we work with a lower threshold limit with values around -1000, and a threshold limit higher with values around -600.

Likewise, the value for the smoothness parameter was 3 (Fig. 1b).

In any case, we must adjust these values individually each time we perform a segmentation, until we achieve a precise image of what we want to isolate. When we are satisfied with the image achieved, we will go to the “Next” key.

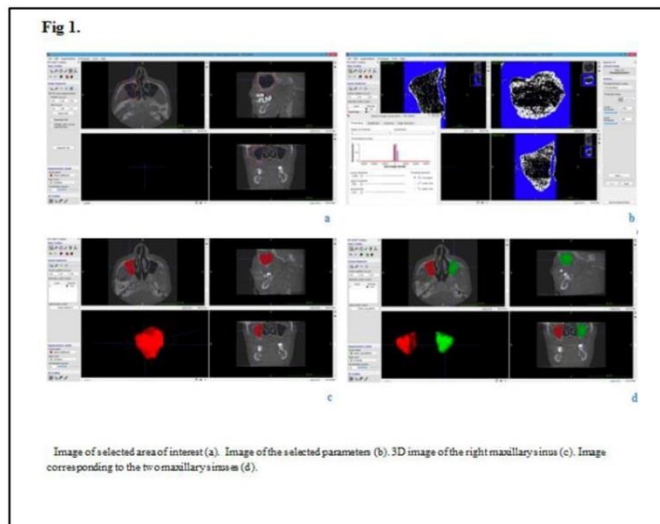
At this moment, we will begin to add bubbles in the selected spaces of the images to be segmented, being able to select their size, until they are filled. In the next step we will select the “Size speed” and press the “Play” key to start the process, allowing us to view it.

When we see that the segmentation is correctly carried out, we will finish it by pressing the “Finish” key. The segmentation of the selected image will appear on the screen, in this case the maxillary sinus, in the axial, sagittal and coronal slices. At this moment, we will press the “Update” key, and the three-dimensional image of the segmented area will be loaded in the lower left window of the screen (Fig. 1c).

Next, we will repeat the process for the left maxillary sinus.

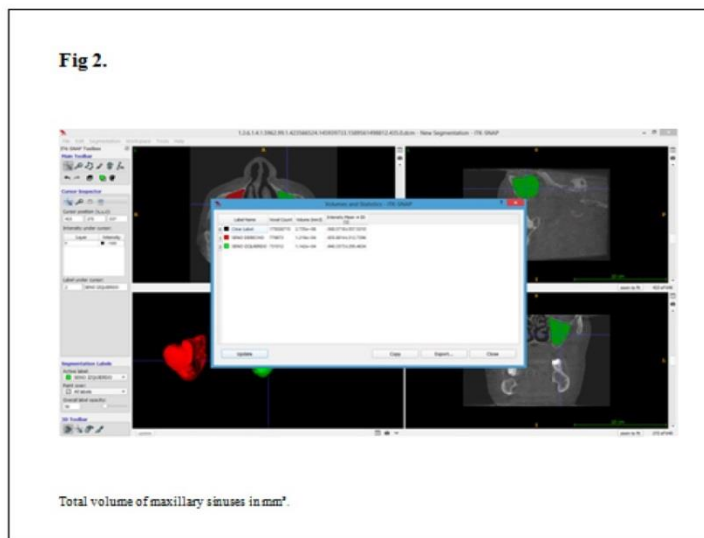
Once the process is done, we will obtain the images corresponding to the two segmented maxillary sinuses

This software allows the three-dimensional visualization of both maxillary sinuses on the same screen, as well as the possibility of moving them in the different planes of space (Fig. 1d).



*Calculation of the total volume of the maxillary sinuses using CBCT images and ITK-SNAP software.*

Then we go to the section “Volume and Statistics” and we will obtain the volume of both maxillary sinuses in cubic millimeters. Finally, we will save the segmented image and the workspace by assigning it a specific name (Fig. 2).



**III. RESULTS**

A total of 68 patients were included in this study, 26 men and 42 women, aged between 40 and 76 years. A total of 129 maxillary sinuses were studied. Statistical treatment of the data was performed using software R (www.r-project.org, version 4.1.0)<sup>20</sup>.

**Total volume right and left maxillary sinuses**

The results obtained in the present study are shown in Table 1.

**Table 1.**

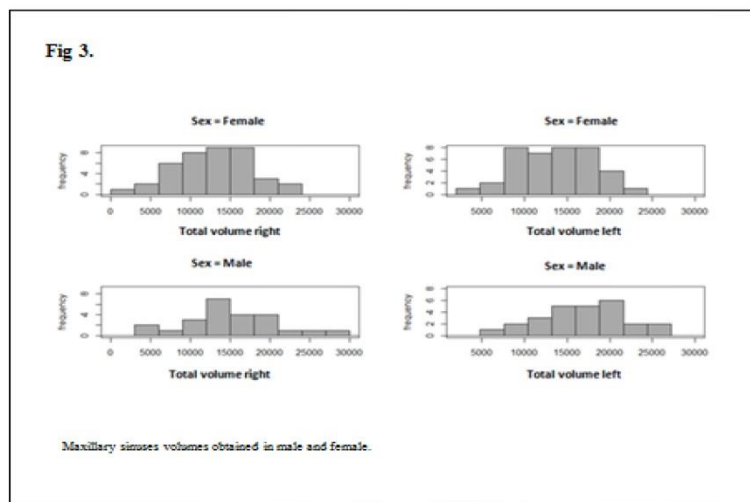
		Total Data	Female	Male
Number of missing teeth right side	min	0	1	0
	max	5	5	5
	mean	3.453	3.70	3.041
Number of missing teeth left side	min	0	0	0
	max	5	5	5
	mean	3.5	3.666	3.240
Total volume right maxillary sinus (mm <sup>3</sup> )	min	2648	2648	4217
	max	29650	21870	29650
	mean	13978	13108.08	15427.42
Total volume left maxillary sinus (mm <sup>3</sup> )	min	3246	3246	6020
	max	27200	21630	27200
	mean	14950	13608.38	16961.35

This table shows the total values obtained from the parameters analyzed and the values obtained in each sex.

**Total volume and sex relationship**

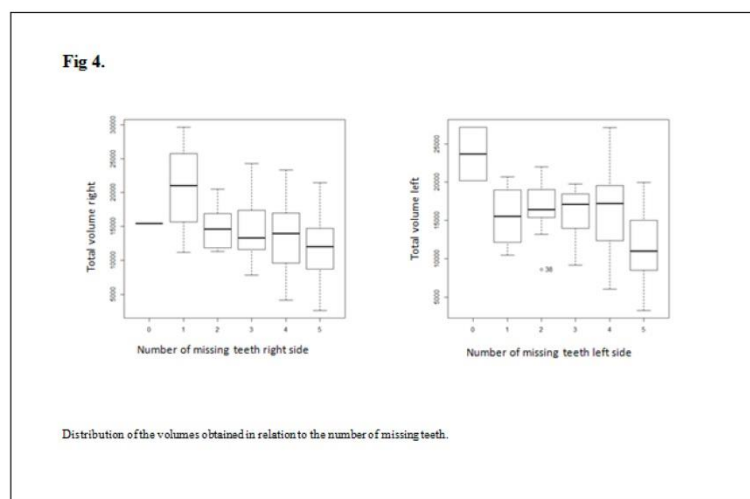
Calculation of the total volume of the maxillary sinuses using CBCT images and ITK-SNAP software.

When we evaluate these variables using the Wilcoxon Mann-Whitney test we observe that on the right side there are no statistically significant differences ( $p = 0.106$ ). However, on the left side we could see that there are statistically significant differences ( $p = 0.009$ ). The value of the mean on the left side is higher in male (16961.35) than in female (13608.38) (Fig. 3).



**Relationship between total volume and number of missing teeth**

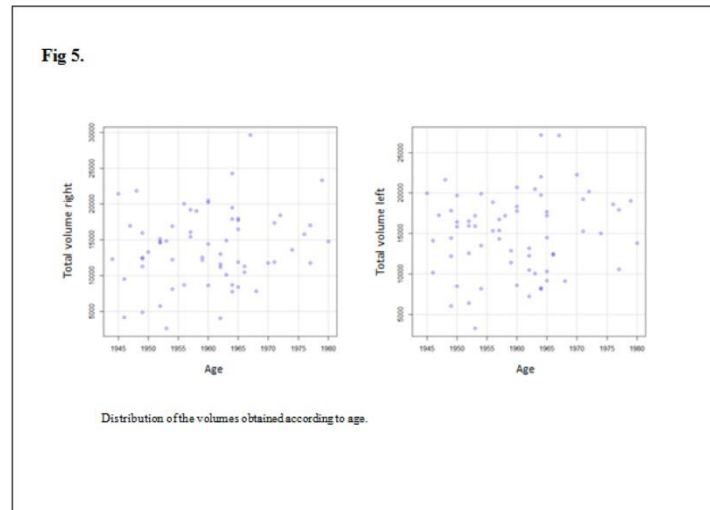
To see the possible relationship between the variables total volume and the number of missing teeth, we used the Kruskal-Wallis test, not obtaining statistically significant results on the right side ( $p = 0.302$ ), but on the left side ( $p = 0.011$ ) (Fig. 4).



**Relationship between total volume and age**

*Calculation of the total volume of the maxillary sinuses using CBCT images and ITK-SNAP software.*

To see the possible relationship between the variables total volume and age, we used the Spearman correlation coefficient, not observing statistically significant differences on the right side ( $p = 0.352$ ), nor on the left ( $p = 0.390$ ) (Fig. 5).



#### IV. Discussion

The values of the total volume that we have obtained in the present study are comparable to those published in 2018 by Luz et al.<sup>15</sup> for the total volume of the bony sinus, being 28.9 cm<sup>3</sup> as the maximum value, 4.0 cm<sup>3</sup> as the minimum value and an average value of 17.1 cm<sup>3</sup>. A total of 128 maxillary sinuses were analyzed in 64 patients using data cone beam computed tomography scan. To calculate the volume they used the implant planning software SMOP (Swissmeda AG, Baar, Switzerland).

Our results differ from those obtained by Gulec et al.<sup>14</sup>, who describe a mean volume of the right maxillary sinus was 13,173 cm<sup>3</sup>, while for the left was 13,194 cm<sup>3</sup>. This may be due to the sample selected by these authors, with an age range ranging from 8 to 51 years.

With reference to the differences in volume between the different sides, we observed similar results, agreeing with other authors (Ariji et al.<sup>1</sup>, Luz et al.<sup>15</sup>, Uchida et al.<sup>3,4</sup>).

Regarding the difference in volume between sexes, on the right side we did not observe statistically significant differences ( $p = 0.106$ ), but we did observe on the left side ( $p = 0.009$ ), being greater for male. This result coincides with that obtained by Luz et al.<sup>15</sup>, who observed that both maxillary sinuses (bone margins) of each patient were quite similar in size (mean difference between the left and right 0.5 cm<sup>3</sup>), but statistically significant with slightly smaller volumes higher on the left side ( $p = 0.045$ ). Male were found to have statistically significant higher mean bone volume (19.0 cm<sup>3</sup>) than female (15.5 cm<sup>3</sup>). These data also coincide with those obtained by other authors such as Möhlhenrich et al.<sup>10</sup>, Velasco-Torres et al.<sup>21</sup>). Farias Gomes et al.<sup>18</sup>, performed linear and volumetric measurements of the maxillary sinuses for sex determination in forensic sciences. Used the ITK-Snap software, obtaining results that suggest that the volume of the maxillary sinus is greater in male. However, these results differ from those provided by Gulec et al.<sup>14</sup> who did not observe that gender had an influence on sinus volume.

With regard to the relationship between the total volume and tooth absences, we have obtained statistically significant differences on the left side, ( $p = 0.011$ ), appreciating a greater sinus volume in those cases with fewer missing teeth. These results partially coincide with those described by Velasco-Torres et al.<sup>21</sup> who observed that the total volume of the maxillary sinus was significantly lower in the totally and partially edentulous patients than in the dentate ones. However, other authors such as Schriber et al.<sup>13</sup> consider that edentulism has no impact on the dimensions of the sinuses, suggesting that there is no continuous pneumatization in the maxillary sinus after tooth loss. They state that after tooth loss in the posterior maxillary region, the loss of vertical bone height is primarily due to resorption of the alveolar ridge, and not to pneumatization of the maxillary sinus. Shahbazian et al.<sup>5</sup> did not find statistically significant differences in the

*Calculation of the total volume of the maxillary sinuses using CBCT images and ITK-SNAP software.*

dimensions of the maxillary sinus for mainly dentate and edentulous patients, as did Luz et al.<sup>15</sup> who did not appreciate a significant association between dentition status and sinus volume.

Relating to the relationship between age and total volume, we did not find significant differences in our study. These results coincide with those obtained by different authors, such as Gulec et al.<sup>14</sup>, Luz et al.<sup>15</sup>, Schriber et al.<sup>13</sup>, Uchida et al.<sup>3,4</sup>. However, they differ from those obtained by Velasco-Torres et al.<sup>21</sup>, who in a study published in 2017, observed that older patients showed lower volume, regardless of sex and edentulous status.

### V. Conclusion

The present study shows that the ITK-SNAP software is a useful tool to calculate the volume of the maxillary sinuses, since in addition to providing it in mm<sup>3</sup>, it allows us to visualize it in 3D.

### Authors contibution

C-M, D. and P-G, N. designed the study. C-M, D. performed the radiological analysis. C-M, D. and P-G, N. were responsible for the preparation of the manuscript. M-S, I.M. performed the statistical analysis. S, J.M. directed and supervised the study. All authors read and approved the final manuscript.

### Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

### Funding

The authors did not receive support from any organization for the submitted work.

### References

- [1]. Arijji, Y., Kuroki, T., Moriguchi, S., Arijji, E. & Kanda, S. Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography. *Dento Maxillo Facial Radiology* 23(3):163-168. doi:10.1259/dmfr.23.3.7835518 (1994).
- [2]. Arijji, Y., Arijji, E., Yoshiura, K. & Kanda, S. Computed tomographic indices for maxillary sinus size in comparison with the sinus volume. *Dento Maxillo Facial Radiology* 25(1):19-24. doi: 10.1259/dmfr.25.1.9084281 (1996).
- [3]. Uchida, Y., Goto, M., Katsuki, T. & Akiyoshi, T. A cadaveric study of maxillary sinus size as an aid in bone grafting of the maxillary sinus floor. *J Oral Maxillofac Surg* 56(10):1158-1163. doi: 10.1016/S0278-2391(98)90761-3 (1998).
- [4]. Uchida, Y., Goto, M., Katsuki, T. & Soejima, Y. Measurement of maxillary sinus volume using computerized tomographic images. *Int J Oral Maxillofac Implants* 13:811-8 (1998).
- [5]. Shahbazian, M., Xue, D., Hu, Y., van Cleynenbreugel, J. & Jacobs, R. Spiral computed tomography based maxillary sinus imaging in relation to tooth loss, implant placement and potential grafting procedure. *J Oral Maxillofac Res* 1;1(1):e7. doi: 10.5037/jomr.2010.1107 (2010).
- [6]. Kirmeier, R. et al. Reproducibility of volumetric measurements on maxillary sinuses. *Int J Oral Maxillofac Surg* 40(2):195-9. doi: 10.1016/j.ijom.2010.10.008 (2011).
- [7]. Deeb, R. et al. Three-dimensional volumetric measurements and analysis of the maxillary sinus. *Am J Rhinol Allergy* 25(3):152-6. doi: 10.2500/ajra.2011.25.3605 (2011).
- [8]. Mardinger, O., Abba, M., Hirshberg, A. & Schwartz-Arad, D. Prevalence, diameter and course of the maxillary intraosseous vascular canal with relation to sinus augmentation procedure: a radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 36(8):735-8. doi: 10.1016/j.ijom.2007.05.005 (2007).
- [9]. Rosano, G., Taschieri, S., Gaudy, J. F., Weinstein, T. & Del Fabbro, M. Maxillary sinus vascular anatomy and its relation to sinus lift surgery. *Clin Oral Implants Res* 22(7):711-715. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02045.x (2011).
- [10]. Möhlhenrich, S. C. et al. Is the Maxillary Sinus Really Suitable in Sex Determination? A Three-Dimensional Analysis of Maxillary Sinus Volume and Surface Depending on Sex and Dentition. *J Craniofac Surg* 26(8):e723-6. doi: 10.1097/SCS.0000000000002226 (2015).
- [11]. Shahidi, S., Zamiri, B., Momeni Danaei, S., Salehi, S. & Hamedani, S. Evaluation of Anatomic Variations in Maxillary Sinus with the Aid of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in a Population in South of Iran. *J Dent (Shiraz)* 17(1):7-15 (2016).
- [12]. Hamdy, R. M. & Abdel-Wahed, N. Three-dimensional linear and volumetric analysis of maxillary sinus pneumatization. *J Adv Res* 5(3):387-95. doi: 10.1016/j.jare.2013.06.006 (2014).
- [13]. Schriber, M., Bornstein, M. M., Suter, V. G. A. Is the pneumatization of the maxillary sinus following tooth loss a reality? A retrospective analysis using cone beam computed tomography and a customised software program. *Clin Oral Investig* 23(3):1349-1358. doi: 10.1007/s00784-018-2552-5 (2019).
- [14]. Gulec, M. et al. Three-dimensional volumetric analysis of the maxillary sinus: a cone-beam computed tomography study. *Folia Morphol (Warsz)* 79(3):557-562. doi: 10.5603/FM.a2019.0106 (2020).
- [15]. Luz, J. et al. 3D-evaluation of the maxillary sinus in cone-beam computed tomography. *Int J Implant Dent* 4: 17. doi: 10.1186/s40729-018-0128-4 (2018).
- [16]. Saccucci, M. et al. Gender assessment through three-dimensional analysis of maxillary sinuses by means of cone beam computed tomography. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 19(2):185-93 (2015).
- [17]. Paknahad, M., Shahidi, S. & Zarei, Z. Sexual Dimorphism of Maxillary Sinus Dimensions Using Cone-Beam Computed Tomography. *J Forensic Sci* 62(2):395-398. doi: 10.1111/1556-4029.13272 (2017).
- [18]. Farias Gomes, A. et al. Development and validation of a formula base don maxillary sinus measurements as a tool for sex estimation: a cone beam computed tomography study. *Int J Legal Med* 133(4):1241-1249. doi: 10.1007/s00414-018-1869-6 (2019).
- [19]. Yushkevich, P. A et al. User-guided 3d active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage* 31(3):1116-1128 (2006).
- [20]. R Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/> (2021).



## IOSR Journals

International Organization  
of Scientific Research

Australia | Qatar | India | New York | Malaysia

### Certificate

Office Code :	M1867	Date :	2023-06-10
MIC No. :	2854	Status :	Published

### Article Details

This is to certify that following paper has been published in IOSR Journals.

Article Title :	Calculation Of The Total Volume Of The Maxillary Sinuses Using CBCT Images And ITK SNAP Software
Author's Name :	Caamano Martinez,Padron Gonzalez, Natalia ,Suarez Quintanilla, Jose Maria
Journal Name :	IOSR Journal of Dental and Medical Sciences
ISSN :	2279-0853
Publisher Name :	International Organization of Scientific Research
Journal Url :	www.iosrjournals.org
Publishing Model :	Open Access Publishing
Review Type :	Blind Peer Review Process
Journal Type :	Indexed Refereed Journal
Volume No. :	22
Issue No. :	06
Article DOI :	10.9790/0853-2206061420



Signature  
Editorial Manager  
IOSR Journals  
support@iosrmail.org

International Organization of Scientific Research || [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)

**Indicadores de calidad:**

La revista donde fue publicado este artículo es la IOSR Journal of Dental and Medical Sciences, que presenta actualmente un factor de impacto de 1.576 (African Quality Centre for Journals (AQCJ)) , correspondiéndole la posición 33 en dicho ranking.

Se encuentra indexada en Indian Citation Index (ICI), Google Scholar, J-Gate, ResearchGate.

**Contribución específica en la publicación:**

Caamaño D y Padrón N diseñaron el estudio. Caamaño D realizó el análisis radiológico. Caamaño D y Padrón N fueron los responsables de la elaboración del manuscrito. Martínez IM realizó el análisis estadístico. Suárez JM dirigió y supervisó el estudio. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

**Reproducción total o parcial del artículo en la tesis:**

En varios capítulos de esta tesis doctoral (Justificación e Hipótesis, Material y Metodología, Resultados y Discusión) podemos encontrar reproducidas algunas partes de este artículo, bien sea texto o imágenes, que hemos citado con el superíndice <sup>107</sup>, que es el número asignado a este artículo en nuestra bibliografía.

## 9.5.2 Artículo nº2

## Cálculo prequirúrgico para determinar el volumen de injerto necesario en la técnica abierta de elevación de seno maxilar

Caamaño D\*, Padrón N\*\*, Martínez IM\*\*\*, Suárez JM\*\*\*\*.

### RESUMEN

**Justificación:** Uno de los aspectos que debemos tener en cuenta a la hora de planificar una cirugía de elevación de seno maxilar es la cantidad de material de injerto que vamos a necesitar para lograr una adecuada disponibilidad ósea a este nivel.

**Objetivos:** El objetivo principal del presente estudio es calcular, de manera prequirúrgica, el volumen de injerto necesario para la posterior realización de una elevación de seno maxilar mediante la técnica abierta o de ventana lateral, y la rehabilitación mediante implantes dentales de 12 mm de longitud.

**Material y método:** Utilizamos imágenes CBCT de 68 pacientes, 26 hombres y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años. Fueron estudiados un total de 116 senos maxilares. Para la determinación del volumen de injerto necesario en cada caso, empleamos el software ITK-SNAP®, diseñado para la segmentación de estructuras en imágenes médicas.

**Resultados:** El volumen medio de injerto necesario para lograr una altura de 13 mm fue de 1321.5 mm<sup>3</sup> para el seno maxilar derecho, con un rango de 366.4 a 3178.0. Para el seno maxilar izquierdo, el volumen medio fue de 1503.5 mm<sup>3</sup>, con un rango de 308.3 a 5940.0 mm<sup>3</sup>.

**Conclusión:** Consideramos que el software ITK-SNAP® es una herramienta útil en la planificación de una cirugía de elevación de seno maxilar, ya que nos permite el cálculo en mm cúbicos del volumen de injerto de manera prequirúrgica, así como su visualización en 3D.

**Palabras clave:** Elevación de seno, volumen de injerto, ITK-SNAP®, CBCT.

### ABSTRACT

**Purpose:** One of the aspects that we must take into account when planning a maxillary sinus lift surgery is the amount of graft material that we will need to achieve an adequate increase in bone availability at this level.

**Objectives:** The main objective of the present study is to calculate, in a presurgical way, the graft volume necessary to perform a maxillary sinus lift using the open or side window technique, and the subsequent rehabilitation using 12 mm dental implants of length.

**Material and method:** We used CBCT images of 68 patients, 26 men and 42 women, aged between 40 and 76 years, with an average of 60 years. A total of 116 maxillary sinuses were studied. To determine the necessary graft volume in each case, we used ITK-SNAP® software, designed for the segmentation of structures in medical images.

**Results:** The mean graft volume necessary to achieve a height of 13 mm was 1321.5 mm<sup>3</sup> for the right maxillary sinus, with a range of 366.4 to 3178.0. For the left maxillary sinus, the mean volume was 1503.5 mm<sup>3</sup>, with a range of 308.3 to 5940.0 mm<sup>3</sup>.

**Conclusion:** We consider that the ITK-SNAP® software is a useful tool in the planning of a maxillary sinus lift surgery, since it allows us to calculate the graft volume in mm<sup>3</sup> in a presurgical way, as well as its visualization in 3D.

**Keywords:** Sinus lift, graft volume, ITK-SNAP®, CBCT.

(\*) Caamaño Martínez, Domingo.  
Licenciado en Odontología por la Universidad de Santiago de Compostela. Master en Terapéutica Dental (USC). Especialista Universitario en Implantología Oral (USC). Diploma de Estudios Avanzados (USC).

(\*\*) Padrón González, Natalia  
Licenciada en Odontología por la Universidad de Santiago de Compostela. Postgrado en Atención Odontológica en Pacientes Especiales y Medicamento Comprometidos (USC). Diploma de Estudios Avanzados (USC).

(\*\*\*) Martínez Silva, Isabel María.  
Licenciada en Matemáticas por la Universidad de Santiago de Compostela.

(\*\*\*\*) Suárez Quintanilla, José María.  
Profesor Titular de Cirugía Oral. Universidad de Santiago de Compostela.

**Correspondencia:**  
Domingo Caamaño Martínez. C/ Santa Uxía nº 9 - 15960 Ribeira, A Coruña.  
E-mail: domingocaamanho@gmail.com

## CIRUGÍA BUCAL

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la rehabilitación oral mediante la utilización de implantes osteointegrados es una de las opciones terapéuticas más solicitadas, y se ha convertido en un procedimiento rehabilitador seguro y predecible. Sin embargo, en muchas ocasiones, nos encontramos con una escasa o nula disponibilidad ósea, por lo que es preciso recurrir previamente a técnicas quirúrgicas de reconstrucción de las zonas que deseamos tratar.

Cuando estas circunstancias se producen en la región posterior del maxilar superior, uno de los procedimientos más empleados es la elevación de seno maxilar, que consiste en la realización de una ventana ósea a nivel de la pared lateral del seno maxilar, seguida de un despegamiento y elevación de la membrana de Schneider, creando un espacio entre esta y el suelo del seno, que a continuación es rellenado mediante el empleo de hueso, ya sea este autólogo, homólogo o heterólogo, o bien mediante la utilización de otros biomateriales.

A la hora de planificar una cirugía de este tipo, el clínico debe plantearse diversas cuestiones, como son el número de implantes necesarios para una correcta rehabilitación, la técnica de elección en cada caso, la cantidad de milímetros que es necesario elevar el suelo sinusal y qué cantidad de material de injerto necesita para lograr dicha elevación. Centrándonos en este último aspecto, no abundan en la literatura trabajos que tengan, como objetivo principal, el cálculo prequirúrgico del volumen de injerto necesario para la realización de esta técnica.

### MATERIAL Y MÉTODO

Para la realización del presente estudio utilizamos las imágenes obtenidas mediante tomografía computerizada de haz cónico (CBCT), pertenecientes al archivo de datos de la Unidad de Radiología de la Facultad de Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela, que fueron realizadas con fines diagnósticos, previa firma por parte de los pacientes del necesario consentimiento informado. Los CBCT fueron tomados mediante el dispositivo *i-CAT* (Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA).

Todos los datos de los pacientes se trataron de acuerdo a lo establecido por la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. También este estudio fue examinado y valorado por el Comité de Bioética de la Universidad de Santiago de Compostela, dictaminando que el protocolo experimental cumplía los requisitos éticos exigidos.

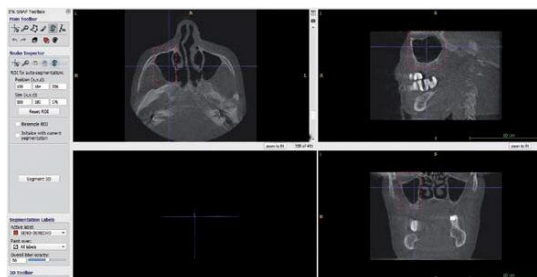


FIGURA 1



FIGURA 2

Tras descartar los estudios que no cumplían los requisitos exigidos, fueron incluidos un total de 68 pacientes, 26 hombres y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años. Fueron estudiados un total de 116 senos maxilares.

Para realizar la selección de las imágenes seleccionadas, definimos los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión:

- Pacientes que presentasen a nivel del maxilar superior sectores posteriores edéntulos, de manera parcial o total, pudiendo ser de manera unilateral o bilateral.
- Todos ellos debían presentar una altura ósea menor de 8 mm desde la cresta residual al suelo sinusal.
- Los pacientes debían otorgar su consentimiento para que sus imágenes diagnósticas puedan ser utilizadas en trabajos de investigación.

Criterios de exclusión:

- Pacientes con patología quística o tumoral en esta región.
- Pacientes que hayan sido sometidos a alguna intervención quirúrgica en la zona.
- Pacientes que presenten grandes defectos, malformaciones y/o grandes asimetrías en estas regiones.
- Pacientes que no hubiesen cumplido alguno de los protocolos administrativos establecidos por el estudio.

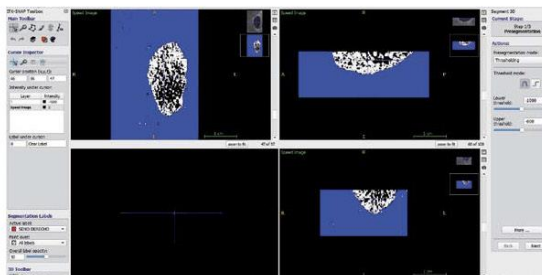


FIGURA 3

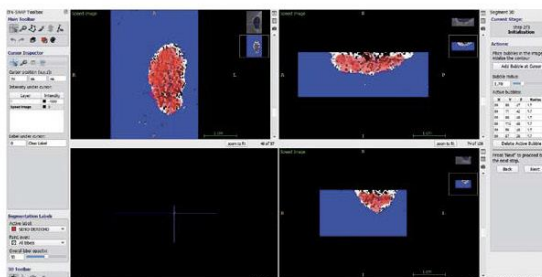


FIGURA 4

**Anonimización de las imágenes.**

Una vez que realizamos la selección del CBCT que cumplía los criterios de selección requeridos para nuestro estudio, y de acuerdo con la normativa vigente de la ley de protección de datos, procedimos a la anonimización de los datos de carácter personal que puedan aparecer reflejados en el mismo. Para ello empleamos el software DicomCleaner TM, que es una herramienta gratuita de código abierto, que permite al usuario importar, eliminar y /o reemplazar información del encabezado y guardar archivos DICOM.

**Realización de las mediciones.**

Para llevar a cabo las mediciones, empleamos el programa ITK-SNAP®. Se trata de una aplicación de software utilizada para segmentar estructuras en imágenes médicas en 3D. Ha sido desarrollada por Paul Yushkevich, Ph.D., del Penn Image Computing and Science Laboratory (PICS�) de la Universidad de Pennsylvania, y Guido Gerig, Ph.D., del Scientific Computing and Imaging Institute (SCI) de la Universidad de Utah, cuyo objetivo fue crear una herramienta que estuviese dedicada a una función específica, la segmentación, y fuese fácil de usar y aprender. ITK-SNAP® es gratuita, de código abierto y multiplataforma. Proporciona una segmentación semiautomática utilizando métodos de contorno activos, así como delineación manual y navegación de imágenes¹.

En nuestro estudio hemos utilizado la versión 3.6.

**Cálculo prequirúrgico del volumen de injerto necesario para la colocación de implantes de 12 mm de longitud.**

Una vez que importamos las imágenes del CBCT seleccionado en formato DICOM, seleccionamos aquella con la que deseamos trabajar. Una vez abierta, procedemos a seleccionar los cortes en los que se aprecia correctamente el área anatómica a estudiar (Figura 1).

En primer lugar, iremos a la casilla "Segmentation", y entre las opciones que nos muestra, seleccionamos el apartado "Label Editor", que nos ofrece la opción de etiquetar cada región que deseemos segmentar asignándole un color propio. En este caso, elegimos el color rojo para el seno maxilar derecho y el color verde para el seno maxilar izquierdo.

En el corte sagital, marcamos una altura de 13 mm desde el reborde alveolar, ya que aunque estamos planificando la posterior rehabilitación con implantes de 12 mm de longitud, sumaremos un milímetro de profundidad a la longitud del implante, para así poder contar con un margen de seguridad y evitar en lo posible la entrada en el seno y la consiguiente perforación de la membrana de Schneider.

Para ello, iremos a la casilla "Line and Ruler Mode", que nos dotará de una regla que nos permitirá marcar la altura deseada (Figura 2).

A continuación, empleamos la herramienta "Snake ROI Tool", para seleccionar la región de interés para la segmentación de contorno activa semiautomática, y pulsaremos la casilla "Segment 3D" para que comience el proceso.

Procedemos entonces a realizar el ajuste de los valores threshold (límites/umbrales) superior e inferior, así como la smoothness (suavidad). En este caso, trabajamos con un límite threshold inferior con unos valores en torno a -1000, y un límite threshold superior con unos valores en torno a -600.

Asimismo, el valor para el parámetro smoothness fue de 3 (Figura 3).

De todas formas, deberemos ajustar estos valores de forma individualizada cada vez que realicemos una segmentación, hasta que logremos una imagen precisa de lo que queramos aislar. Cuando estemos satisfechos con la imagen lograda, iremos a la casilla "Next". En este momento, empezaremos a añadir burbujas en los espacios seleccionados de las imágenes a segmentar, pudiendo seleccionar el tamaño de las mismas, hasta lograr un llenado de los mismos (Figura 4). En el paso 3/3 seleccionaremos la velocidad (Size Speed) y oprimiremos la tecla "Play" para que comience el proceso de segmentación, permitiéndonos la visualización del mismo.

¹Cálculo prequirúrgico para determinar el volumen de injerto necesario en la técnica abierta de elevación de seno maxilar. Caamaño Martínez, Domingo et al.

## CIRUGÍA BUCAL

Cuando observemos que la segmentación esté correctamente realizada, finalizaremos la misma oprimiendo la tecla "Finish". Nos aparecerá en la pantalla la segmentación de la imagen seleccionada, en este caso el volumen de injerto, en los cortes axial, sagital y coronal. En este momento, pulsaremos la tecla "Update", y se cargará la imagen tridimensional del área segmentada en la ventana inferior izquierda de la pantalla (Figura 5).

A continuación, repetimos el proceso de segmentación para el seno maxilar izquierdo (Figuras 6, 7 y 8). Una vez completado, obtendremos las imágenes correspondientes a los dos injertos segmentados (Figura 9).

En este momento, vamos a la tecla de "Volumen and Statistics" y nos aparece en la pantalla los volúmenes medidos expresados en milímetros cúbicos (Figura 10). Esta aplicación de software nos permite la visualización tridimensional de ambos injertos en la misma pantalla, así como la posibilidad de desplazar los mismos en los diferentes planos del espacio, permitiéndonos observar su morfología desde todos los ángulos posibles. Por último, guardamos la imagen segmentada y el espacio de trabajo asignándole un nombre determinado.

Este software nos permite obtener una imagen tridimensional del injerto necesario para poder colocar implantes de esta longitud, calculando su volumen en milímetros cúbicos, para poder planificar de la manera más exacta posible la cantidad de biomaterial que necesitaremos emplear. La justificación de la medida de implantes seleccionada se basa en que consideramos que en la actualidad, para rehabilitar la región posterior del maxilar mediante implantes, cuando la altura de la cresta ósea sea de aproximadamente 8 mm, es posible recurrir a la utilización de implantes cortos (aquellos con una longitud igual o menor de 8 mm) sin necesidad de realizar una cirugía de elevación de seno maxilar.

Por otro lado, consideramos que los implantes con una longitud de 12 mm son los más habitualmente utilizados en aquellos casos que se ha realizado un injerto en el seno maxilar. De todas formas, cabe destacar que ITK-SNAP® nos permite delimitar la altura que nosotros deseemos, calculando el injerto necesario en  $\text{mm}^3$ .

### RESULTADOS

En este estudio fueron incluidos un total de 68 pacientes, 26 hombres y 42 mujeres, con una edad comprendida entre 40 y 76 años, con una media de 60 años. Fueron estudiados un total de 116 senos maxilares.

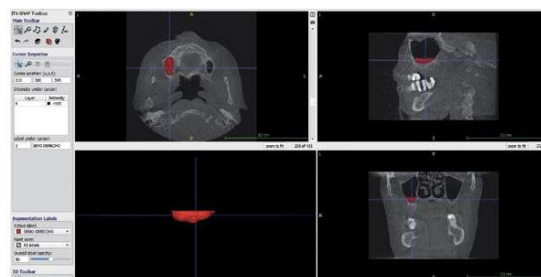


FIGURA 5



FIGURA 6

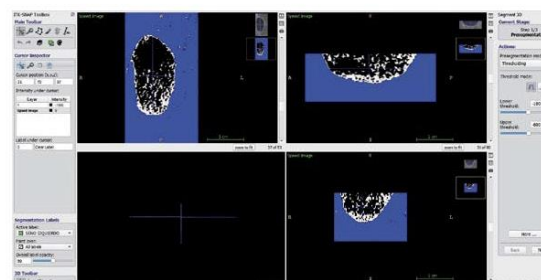


FIGURA 7

En el lado derecho, el volumen máximo de injerto para una altura de 13 mm fue de  $3178.0 \text{ mm}^3$ , y el volumen mínimo fue de  $366.4 \text{ mm}^3$ , con una media de  $1321.5 \text{ mm}^3$ .

La media en el grupo de las mujeres fue de  $1330.743 \text{ mm}^3$  y en el grupo de los varones fue de  $1304.415 \text{ mm}^3$ .

En el lado izquierdo, el volumen máximo de injerto para una altura de 13 mm fue de  $5940.0 \text{ mm}^3$ , y el volumen mínimo fue de  $308.3 \text{ mm}^3$ , con una media de  $1503.5 \text{ mm}^3$ .

La media en el grupo de las mujeres fue de  $1415.919 \text{ mm}^3$  y en el grupo de los varones fue de  $1640.661 \text{ mm}^3$ .

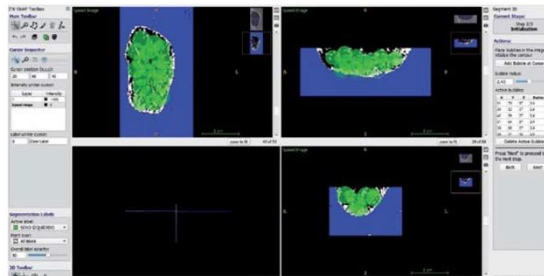


FIGURA 8

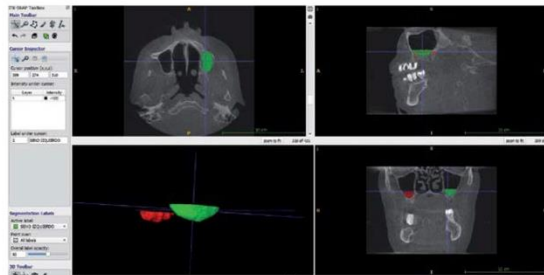


FIGURA 9

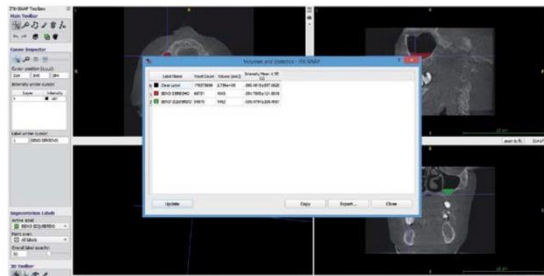


FIGURA 10

Al realizar los contrastes de las variables volumen de injerto a 13mm y sexo, mediante el t-test con un nivel de confianza: 95%, obtuvimos un p-value = 0.8654 para el lado derecho, y un p-value = 0.4016 para el lado izquierdo, no pudiendo observarse diferencias estadísticamente significativas (Tablas 1 y 2).

**DISCUSIÓN**

A la hora de planificar una cirugía de elevación de seno maxilar, uno de los aspectos fundamentales a tener en cuenta es

TABLA 1

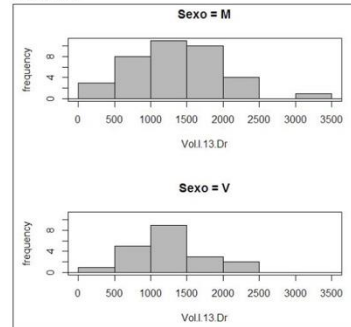
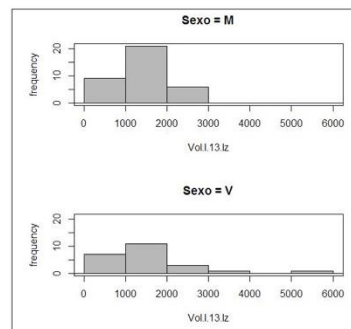


TABLA 2



el volumen que deberá tener el injerto para lograr una determinada altura que nos permita la posterior rehabilitación mediante implantes dentales. Existen en la literatura diversos trabajos que tienen como objetivo el cálculo del volumen de los senos maxilares, siendo uno de los primeros el publicado por Arijji et al.<sup>2</sup> en 1994, en el que midieron el volumen normal del seno maxilar mediante el empleo de CT axial en 115 casos, analizando la relación de edad, presencia de premolares y molares, tamaño del esqueleto facial y la altura y anchura del cuerpo. El volumen observado fue de 4.56-35.21 cm<sup>3</sup> en pacientes cuya edad estaba en torno a los 20 años, no encontrando diferencias significativas en cuanto al sexo. En otro estudio publicado por Uchida et al<sup>3</sup> en 1998, se evaluó el tamaño del seno maxilar en 32 cadáveres, con un total de 59 senos, para utilizarlo como una ayuda para determinar el volumen del injerto óseo antes de la cirugía. Observaron que en injertos óseos de seno maxilar, teniendo en consideración diferencias individuales en el volumen del seno maxilar y la

Cálculo prequirúrgico para determinar el volumen de injerto necesario en la técnica abierta de elevación de seno maxilar. Caamaño Martínez, Domingo et al.

## CIRUGÍA BUCAL

reabsorción del hueso injertado, se necesitan  $4.74\text{cm}^3$  o más para lograr un levantamiento de 15mm, y  $7.37\text{cm}^3$  o más para un levantamiento de 20 mm. Ese mismo año, Uchida et al.<sup>4</sup> publicaron un trabajo similar al anterior, en el que midieron el volumen de un total de 38 senos ayudándose de imágenes tomográficas computarizadas y reconstrucciones en 3D.

Gaggi et al.<sup>5</sup> publicaron un trabajo en el que realizaban en tres casos clínicos, la planificación de tratamiento para elevaciones de seno mediante el uso de modelos fresados 3D derivados de la tomografía computadorizada previa. Posteriormente, practicaban la elevación de seno maxilar empleando crestalílica y la colocación de implantes inmediatos simultáneos. En 2006, Krenmair et al.<sup>6</sup> publicaron un estudio que tenía como objetivo calcular el aumento de volumen para la elevación de seno maxilar basándose en tomografía computadorizada de sección transversal para dos alturas diferentes (12 y 17 mm). Fue calculado para 44 elevaciones, obteniendo los siguientes resultados:

- Para lograr una altura de 12mm era necesario un incremento de  $7.2 \pm 2.1\text{mm}$ , y el volumen requerido fue de  $1.7 \pm 0.9\text{cm}^3$ .
- Para lograr una altura de 17mm era necesario un incremento de  $12.4 \pm 2.0\text{mm}$ , y el volumen requerido fue de  $3.6 \pm 1.5\text{cm}^3$ .

Observaron una correlación significativa entre el aumento de la altura y el volumen calculado para la realización de la elevación de seno.

En cuanto al cálculo del volumen de injerto, en el 2010, Arias-Irímia et al.<sup>7</sup> publicaron un trabajo que tenía como objetivo principal la evaluación de la utilidad del software CompuDent para determinar el volumen preoperatorio de injerto óseo y el cálculo del volumen de injerto necesario para la rehabilitación usando dos medidas de implantes. Incluyeron un total de 32 pacientes, 16 varones y 16 mujeres, con una media de edad de 59.7 años. Calcularon el volumen de injerto necesario para 47 elevaciones de seno.

El volumen medio de injerto para lograr un levantamiento de 13.4 fue de  $2.42\text{cm}^3$  para el seno maxilar derecho, con un rango de  $1.4\text{cm}^3$  a  $4.1\text{cm}^3$ , y  $2.50\text{cm}^3$  para el seno maxilar izquierdo, con un rango de  $1.04\text{cm}^3$  a  $3.79\text{cm}^3$ . Asimismo, el volumen medio de injerto para lograr un levantamiento de 15mm fue de  $3.01\text{cm}^3$  para el seno maxilar derecho, con un rango de  $1.78\text{cm}^3$  a  $4.59\text{cm}^3$ , y  $3.09\text{cm}^3$  para el seno maxilar izquierdo, con un rango de  $1.42\text{cm}^3$  a  $4.49\text{cm}^3$ .

En el 2012, Arias-Irímia et al.<sup>8</sup> publicaron un estudio muy similar al anterior, en el que realizan el cálculo para 62 elevaciones. El volumen medio de injerto para lograr una elevación de 13.4 mm fue de  $2.61 \pm 0.69\text{cm}^3$  para el seno maxilar derecho, con un rango de  $1.38-4.1\text{cm}^3$ , y de  $2.68 \pm 0.81\text{cm}^3$  para el seno maxilar izquierdo, con un rango de  $1.1-4.25\text{cm}^3$ . El volumen medio de injerto para una elevación de 15 mm fue de  $3.13 \pm 0.75\text{cm}^3$  para el seno maxilar derecho, con un rango de  $1.59-4.81\text{cm}^3$ , y de  $3.29 \pm 1.02\text{cm}^3$  para el seno maxilar izquierdo, con un rango de  $1.48-5.11\text{cm}^3$ . En ambos artículos concluyen que este software es una herramienta efectiva

para determinar el volumen de injerto óseo debido a su simplicidad, rapidez y posibilidad de estandarización en todos los procedimientos prequirúrgicos.

En 2017, Velasco-Torres et al.<sup>12</sup> publicaron un estudio en el que mediante la evaluación de imágenes CBCT, midieron el volumen total del seno maxilar. Observaron que las dimensiones del seno maxilar están influenciadas por la edad y el estado de edentulismo, disminuyendo con el envejecimiento y la pérdida dental.

En 2018, Julia Luz et al.<sup>13</sup> realizaron un estudio en el que mediante la utilización de imágenes CBCT y el software SMOP (Swissmeda AG, Baar, Switzerland) analizaron el área y el volumen de los senos maxilares óseos, así como las cavidades remanentes neumatizadas en casos de senos obliterados.

Para senos óseos, la media del área de superficie fue de  $39.7\text{cm}^2$  y un volumen medio de  $17.1\text{cm}^3$ . Para las cavidades remanentes neumatizadas, la media del área de superficie fue de  $36.4\text{cm}^2$  y la media del volumen fue de  $15\text{cm}^3$ .

Existen trabajos en la literatura en los que el software ITK-SNAP<sup>®</sup> es empleado para medir el volumen de los senos maxilares, como el publicado por Amanda Fariás et al.<sup>14</sup>, que tenía como objetivo principal el desarrollo y la validación de una fórmula que permita la estimación sexual a través de mediciones en los senos maxilares en una población brasileña, mediante la utilización de imágenes CBCT.

Sin embargo, no hemos encontrado en la literatura ningún trabajo que utilice el software ITK-SNAP<sup>®</sup> para realizar el cálculo prequirúrgico del volumen de injerto necesario para realizar una cirugía de elevación de seno maxilar.

### CONCLUSIÓN

Consideramos que el software ITK-SNAP<sup>®</sup> es una herramienta útil en la planificación de la cirugía de elevación del seno maxilar, ya que nos permite realizar el cálculo en milímetros cúbicos del volumen de injerto necesario, para lograr una determinada disponibilidad ósea. Asimismo y de manera preoperatoria nos permite tener una visión en 3D del seno maxilar, que nos aporta información de calidad en el diseño del protocolo quirúrgico.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, Gerig G. User-guided 3d active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*. 2006 Jul;31(3):1116-28. [PubMed] [Google Scholar].
2. Arijji Y, Kuroki T, Moriguchi S, Arijji E, Kanda S. Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography. *Dento Maxillo Facial Radiology*. 1994;23(3):163-8. doi:10.1259/dmfr.23.3.7835518.
3. Uchida Y, Goto M, Katsuki T, Akiyoshi T. A cadaveric study of maxillary sinus size as an aid in bone grafting of the maxillary sinus floor. *J Oral Maxillofac Surg*. 1998;56(10):1158-63. doi: 10.1016/S0278-2391(98)90761-3.



4. Uchida Y, Goto M, Katsuki T, Soejima Y. Measurement of maxillary sinus volume using computerized tomographic images. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1998;13:811-8.
5. Gaggi A, Schultes G, Santler G, Kärcher H. Treatment planning for sinus lift augmentations through use of 3-dimensional milled models derived from computed tomography scans: a report of 3 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998;86:388-92.
6. Krennmair G, Krainhöfner M, Maier H, Weinländer M, Piehslinger E. Computerized tomography-assisted calculation of sinus augmentation volume. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2006;21:907-13.
7. Arias-Irímia O, Barona-Dorado C, Martínez-Rodríguez N, Ortega-Aranegui R, Martínez-González JM. Pre-operative evaluation of the volume of bone graft in sinus lifts by means of CompuDent. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2010 May 1;15 (3):e512-6.
8. Arias-Irímia O, Barona Dorado C, Gómez Moreno G, Brinkmann JC, Martínez-González JM. Pre-operative measurement of the volumen of bone graft in sinus lifts using CompuDent. *Clin Oral Implants Res*. 2012 Sep;23(9):1070-4. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02267.x. Epub 2011 Sep 28. PMID: 22092647.
9. Paulo Hemerson de Moraes, Marcelo Victor Omena Caldas Costa, Sergio Olate, Paulo Henrique Ferreira Caria, José Ricardo de Albergaria Barbosa. Estudio Morfométrico del Seno Maxilar mediante Tomografías Computadorizadas. Evaluación de la reconstrucción total de Piso Sinusal. *Int. J. Morphol*, 30(2):592-8, 2012.
10. Hamdy RM, Abdel-Wahed N. Three-dimensional linear and volumetric analysis of maxillary sinus pneumatization. *J Adv Res*. 2014;5(3):387-95. doi: 10.1016/j.jare.2013.06.006.
11. Antoine Berberi, Lea Bouserhal, Nabih Nader, Rita Bou Assaf, Nayla Bassil Nassif, Joseph Bouserhal, Ziad Salameh. Evaluation of Three-Dimensional Volumetric Changes After Sinus Floor Augmentation with Mineralized Cortical Bone Allograft. *J Maxillofac Oral Surg*. 2015 Sep;14(3):624-9. doi: 10.1007/s12663-014-0736-3. Epub 2014 Dec 24.
12. Velasco-Torres M, Padial-Molina M, Avila-Ortiz G, García-Delgado R, O'Valle F, Catena A, et al. Maxillary sinus dimensions decrease as age and tooth loss increase. *Implant Dent*. 2017;26(2):288-95. doi: 10.1097/ID.0000000000000551.
13. Julia Luz, Dominique Greutmann, Daniel Wiedemeier, Claudio Rostetter, Martin Rücker, Bernd Stadlinger. 3D-evaluation of the maxillary sinus in cone-beam computed tomography. *Int J Implant Dent*. 2018 Dec;4:17. Published online 2018 Jun 5. doi: 10.1186/s40729-018-0128-4.
14. Farias Gomes A, de Oliveira Gamba T, Yamasaki MC, Groppo FC, Haiter Neto F, Possobon RF. Development and validation of a formula based on maxillary sinus measurements as a tool for sex estimation: a cone beam computed tomography study. *Int J Legal Med*. 2019 Jul;133(4):1241-49. doi: 10.1007/s00414-018-1869-6. Epub 2018 Jun 25. PMID:29943120.

Cálculo prequirúrgico para determinar el volumen de injerto necesario en la técnica abierta de elevación de seno maxilar. *Caamaño Martínez, Domingo et al.*

- 244 -

# RCOE



José María Suárez Quintanilla, DNI 33250776K, y director de la revista RCOE, autoriza la utilización del artículo "Cálculo prequirúrgico para determinar el volumen de injerto necesario en la técnica abierta de elevación de seno maxilar". D. Caamaño, N. Padrón González, I.M. Martínez, José María Suárez Quintanilla. RCOE: Revista del Ilustre Consejo General de Colegios de Odontólogos y Estomatólogos de España, ISSN 1138-123X, Vol.26, Nº.1 (marzo), 2021, págs. 238-244, para su utilización como publicación previa de su Tesis Doctoral.

Madrid, 11 de octubre de 2023

RCOE - Revista del Consejo General de Dentistas

### **Indicadores de calidad:**

La revista donde fue publicado este artículo es la RCOE: Revista del Ilustre Consejo General de Colegios de Odontólogos y Estomatólogos de España, ISSN 1138-123X, Vol 26, Nº 1 (Marzo), 2021, págs. 238-244. Esta revista tiene como objetivo publicar artículos originales de tipo científico o práctico sobre Odonto-estomatología. Se encuentra indexada en Directory of Open Access Journals (DOAJ), Índice Bibliográfico Español en Ciencias de la Salud (IBECS), Latindex-Directorio, MIAR, SciELO, Índice Médico Español (IME), Dialnet, Google Scholar.

### **Contribución específica en la publicación:**

Caamaño D y Padrón N diseñaron el estudio. Caamaño D realizó el análisis radiológico. Caamaño D y Padrón N fueron los responsables de la elaboración del manuscrito. Martínez IM realizó el análisis estadístico. Suárez JM dirigió y supervisó el estudio. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

### **Reproducción total o parcial del artículo en la tesis:**

En varios capítulos de esta tesis doctoral (Introducción, Justificación e Hipótesis, Material y Metodología, Resultados y Discusión) podemos encontrar reproducidas algunas partes de este artículo, bien sea texto o imágenes, que hemos citado con el superíndice <sup>35</sup>, que es el número asignado a este artículo en nuestra bibliografía.

En aquellos casos en los que la disponibilidad ósea se encuentra limitada a nivel de los sectores posteriores del maxilar superior, la utilización de las diferentes técnicas de elevación de seno maxilar nos permite lograr un volumen óseo adecuado para la posterior rehabilitación mediante implantes osteointegrados.

En el presente trabajo de investigación, mediante el empleo de imágenes CBCT y el software ITK-SNAP, hemos estudiado el volumen total de los senos maxilares, así como el cálculo preoperatorio del volumen de injerto necesario para la realización de una cirugía de elevación de seno maxilar y la posterior rehabilitación mediante la inserción de implantes dentales osteointegrados de 12 mm de longitud.

Palabras clave: Seno maxilar; ITK-SNAP; Volumen del seno maxilar; CBCT, Volumen de injerto.