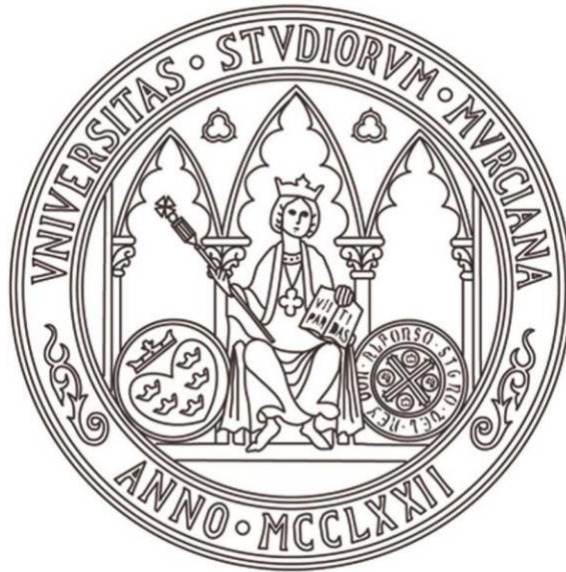




UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
TESIS DOCTORAL

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

D.^a Sofía Soler Alcaraz
2023



UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
TESIS DOCTORAL

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Autor: D.^a Sofía Soler Alcaraz

Director/es: D. Fabio Camacho Alonso y
D.^a Yolanda Guerrero Sánchez



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. SOFÍA SOLER ALCARAZ

doctorando del Programa de Doctorado en

CIENCIAS DE LA SALUD

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

y dirigida por,

D./Dña. FABIO CAMACHO ALONSO

D./Dña. YOLANDA GUERRERO SÁNCHEZ

D./Dña.

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:

- *La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- *En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 11 de julio de 2023

Fdo.: SOFÍA SOLER ALCARAZ

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado del esfuerzo y estudio de años atrás, en los que he tenido la suerte de coincidir con personas y profesionales que tanto me han aportado y guiado en conseguir mis propósitos. Puesto que sin todos ellos nada de esto habría sido posible quería dedicarles este apartado.

En primer lugar, al Dr. Fabio Camacho Alonso director y tutor de tesis, por acogerme en la Universidad de Murcia en la que tanto he aprendido en los últimos años y por su trabajo diario admirable en docencia, investigación y ámbito clínico, siendo una suerte poder tenerlo como ejemplo profesional y personal.

Con la misma consideración, agradecer a mi directora la Dra. Yolanda Guerrero Sánchez todos los conocimientos que me ha transmitido con tanta paciencia y dedicación en todo lo que hace, siendo mi referente en un ámbito de investigación que inicialmente desconocía, confiriéndome su pasión y vocación en el mismo. Durante sus tutorías, no sólo me ha impulsado a no desistir en ningún momento, si no que gracias a su enorme esfuerzo y categoría humana se ha convertido en alguien a quien admiraré siempre.

Al Dr. Osmundo Gilbel por permitirme contar con una amplia cantidad de casos clínicos, que tantos años de trabajo le ha costado conseguir y por aportar tanta sabiduría en el Máster de Cirugía e Implantología Oral de la Universidad de Murcia, al que tengo el placer de asistir. Gracias a su gran manejo clínico en elevaciones sinusales ha sido posible desarrollar parte de esta investigación.

A mis padres, Antonio Soler y Concepción Alcaraz por todo el tiempo y cariño desinteresado que me han dedicado siempre, sin vuestro espíritu incansable de sacrificio no podría haberme dedicado a lo que me apasiona, pero sobre todo gracias a los valores y principios que me han ayudado a disfrutar de las pequeñas cosas del camino.

A mi hermana mayor, Inma Soler, por ser tan buena compañera de vida desde que tengo uso de razón hasta día de hoy, mi fiel consejera. Me viste dar mis primeros pasos y también tropiezos, estando siempre ahí para levantarme, celebrando y llorando conmigo a partes iguales. Gracias por ser tan buen ejemplo para seguir, espero no defraudarte. Junto a ella, también a mi cuñado David Carrillo, por ser un hermano más y brindarme su apoyo en todo momento.

Igualmente, a los amigos y compañeros de profesión que han confiado en mí durante este proceso y sólo han tenido palabras de aliento siempre que lo he necesitado.

Gracias de corazón.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

RPM: revoluciones por minuto

N: Newton

BIC: contacto hueso-implante

CBCT: tomografía computarizada de haz cónico

HA: hidroxiapatita

DBB: hueso bovino desproteinizado

APPS: arteria alveolar posterior superior

SAD: diseño de antrostomía simplificada

DMO: densidad mineral ósea

GCM: grosor cortical mandibular

OPG: ortopantomografía

TAC: tomografía axial computarizada

FOV: campo de visión

ROI: región de interés

DF: dimensión fractal

UH: unidades Hounsfield

DXA: absorciometría radiológica de doble energía

AF: análisis fractal

ROG: regeneración ósea guiada

RESUMEN

Introducción: existen múltiples herramientas para cuantificar el éxito o estabilidad resultante tras la cirugía de implantes dentales, sin embargo, pocas estudian los cambios trabeculares que se producen en la región quirúrgica periimplantaria. El análisis de la geometría o dimensión fractal, puede permitir en las radiografías o TACs el estudio de formas autosimilares ofreciendo herramientas para cuantificar la complejidad de estructuras naturales como la estructura ósea, es por ello que se valora su aplicación en procesos quirúrgicos que implican remodelación y sustitución por hueso nuevo como el proceso de osteointegración tras dos tipos distintos de fresado o en biomateriales usados en elevaciones sinusales con implantes inmediatos. **Material y Métodos:** se llevaron a cabo dos ensayos clínicos retrospectivos. El primero, incluyó una muestra de 129 implantes sometidos tanto a fresado biológico como convencional, con el posterior análisis de la dimensión fractal como valor comparativo del estado de la arquitectura trabecular. El segundo estudio incluyó 35 pacientes que habían sido sometidos a elevación sinusal (n=51) con xenoinjerto óseo e implantes inmediatos, en los que se midió, no sólo la dimensión fractal, sino también el volumen óseo obtenido tras la carga de los implantes. **Resultados:** en cuanto a los tipos de fresado, no encontramos diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre los dos grupos de estudio comparando ambas técnicas. En elevación sinusal sí fueron estadísticamente significativos los datos obtenidos de dimensión fractal, así como los cambios en volumen óseo tras 1 año de la carga protésica. **Conclusiones:** la herramienta de dimensión fractal resulta de gran utilidad para medir los cambios trabeculares en regiones postquirúrgicas intraorales.

Palabras Clave: fresado, densidad ósea, dimensión fractal, radiología, radiodiagnóstico.

ABSTRACT

Introduction: there are multiple tools to quantify the success or stability resulting from implant surgery, however, few study the trabecular changes that occur in the peri-implant surgical region. The analysis of fractal geometry or dimension can allow the study of self-similar forms in radiographs or CT scans, offering tools to quantify the complexity of natural structures such as bone structure, which is why its application in surgical processes that involve remodeling and replacement is valued. by new bone such as the osseointegration process after two different types of drilling or in biomaterials used in sinus elevations with immediate dental implants. **Material and Methods:** Two retrospective clinical trials were carried out. The first included a sample of 129 implants subjected to both biological and conventional drilling, with subsequent analysis of the fractal dimension as a comparative value of the state of the trabecular architecture. The second study included 35 patients who had undergone sinus elevation (n=51) with bone xenograft and immediate implants, in whom not only the fractal dimension was measured, but also the bone volume obtained after implant loading. **Results:** regarding the types of drilling, we did not find significant differences ($p \geq 0.05$) between the two study groups comparing both techniques. In sinus elevation, the data obtained from fractal dimension were statistically significant, as well as the changes in bone volume after 1 year of prosthetic loading. **Conclusions:** the fractal dimension tool is very useful for measuring trabecular changes in post-surgical regions.

Keywords: drilling, bone density, fractal dimension, radiology, radiodiagnosis.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MARCO HISTÓRICO	1
1.1.1 Prehistoria.....	2
1.1.2 Edad Antigua	2
1.1.3 Edad Media	4
1.1.4 Edad Moderna.....	4
1.1.5 Edad Contemporánea.....	5
1.1.6 Implantología moderna con Per-Ingvar Brånemark	5
1.3 FRESADO QUIRÚRGICO.....	6
1.3.1 Definición	7
1.3.2 Diferenciación y geometría de las fresas implantológicas	7
1.3.3 Tipos de Fresado.....	10
1.4 TEJIDO ÓSEO	15
1.4.1 Anatomía ósea maxilar	15
1.4.2 DMO	17
1.4.3 Interfase hueso-implante.....	19
1.5 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL SENOS MAXILAR.....	22
1.5.1 Estructuras importantes y variables anatómicas del seno maxilar.....	24
1.5.2 Fisiopatología de las elevaciones sinusales	24
1.5.3 Materiales de relleno óseo	26

1.5.4 Elevación sinusal con ventana lateral aplicada en implantología oral	30
1.7 RADIODIAGNÓSTICO EN IMPLANTOLOGÍA.....	33
1.8 CONCEPTO Y APLICACIONES DE DIMENSIÓN FRACTAL (DF).....	35
1.8.1 Antecedentes.....	37
1.8.2 Método de medición de White y Rudolph.....	39
1.8.1 Dimensión fractal como herramienta cuantificativa en implantología....	41
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	44
2.1 JUSTIFICACIÓN.....	44
2.2 OBJETIVOS.....	48
3. INVESTIGACIONES.....	52
3.1 Estudio 1 (Soler-Alcaraz y cols., 2023) (Anexo 1).....	52
3.1.1 Material y Métodos.....	52
3.1.2 Resultados.....	57
3.1.3 Discusión.....	61
3.2 Estudio 2.....	65
3.2.1 Material y Métodos.....	65
3.2.2 Resultados.....	71
3.2.3 Discusión.....	75
4. CONCLUSIONES.....	79
5. BIBLIOGRAFÍA.....	81
6. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	111

6.1 Índice de Figuras.....	111
6.2 Índice de Tablas.....	113
7. ANEXOS.....	115
Anexo 1. Publicación de Artículo 1 en revista científica.....	115
Anexo 2. Documento del Comité de Bioética.....	116
Anexo 3. Justificante de participación en congreso.....	117
Anexo 4. Otros documentos de interés.....	118

I. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La evolución vertiginosa en las últimas décadas de la ciencia y la tecnología ha marcado múltiples áreas de conocimiento, impulsando grandes beneficios para el ser humano y su entorno. Esta revolución científica no ha pasado desapercibida en la odontoestomatología, donde las nuevas técnicas y materiales se han ido adaptando a las necesidades de cada paciente (De la Rosa Rubalcava y cols., 2016). En su caso, la implantología oral ha mejorado sustancialmente la rehabilitación oral de pacientes edéntulos, tanto en apariencia como en funcionalidad, así como la relación con su entorno. Los implantes dentales se conocen como lo más parecido a una raíz dental artificial, teniendo la misma función de sostener la carga coronal envuelta en tejido óseo maxilar e implantándose mediante un proceso quirúrgico de complejidad variable (Zurbano y cols., 2017).

Son múltiples los factores que influyen en la pérdida dental de una o varios dientes, siendo algunos de los de mayor incidencia los traumatismos dentales, la enfermedad periodontal o la caries (Lozano Chiluíza, 2021; Tamami Bedon, 2018). Este hecho, tiene para los pacientes no sólo un impacto en la función masticatoria, sino también psicoemocional al limitar la expresión verbal y facial al expresar sentimientos como por ejemplo la emoción al sonreír (Caminer Ortiz, 2020). Se ha demostrado una relación directamente proporcional entre la edad y el edentulismo, siendo el grupo de mayor edad quien requiere del tratamiento implantológico para recuperar calidad de vida (Dzhongova y Petrova, 2021; Romandini y cols., 2021).

1.1 MARCO HISTÓRICO

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

En cuanto a los antecedentes históricos de la implantología oral, se remontan a miles de años atrás, empleándose múltiples técnicas antes de los implantes dentales que conocemos hoy día (Zurbano y cols., 2017). Comenzaron con sustitutivos protésicos en el antiguo Egipto, donde mediante ligaduras de oro colocaban dientes tallados en marfil a modo de pósticos. Las primeras intervenciones de implantes intraóseos fueron en el año 600 dC. en la que las civilizaciones mayas recurrieron a su confección mediante conchas o en el 800 dC. que los confeccionaron mediante piedra en distintas regiones de Honduras, aplicando antibiótico para las infecciones posteriores (Lanas Terán, 2017). Continuaron en el año 1600 con el empleo de alotransplantes de dientes de cadáveres, así como algunos materiales de platino o acero inoxidable que producían amplio rechazo (Celeste, 2014). Con el tiempo, dichos materiales y técnicas de implantación fueron perfeccionándose, constando las primeras evidencias de implantes de titanio en 1965 por Branemark y aún hoy en día, siguen surgiendo nuevos métodos, herramientas y materiales quirúrgicos que recalcan el interés en la investigación de este campo.

1.1.1 Prehistoria

La pérdida dental ha supuesto una limitación en la calidad de vida desde hace miles de años, donde las civilizaciones antiguas ya intentaban sustituir los dientes perdidos con diversos materiales y objetos, con una supervivencia comprometida. Existen evidencias de hace 7000 años atrás en Argelia, donde se encontró implantado en un cráneo la falange ósea de un dedo en su alveolo (Ring, 1985).

1.1.2 Edad Antigua

La civilización egipcia fue pionera en múltiples ciencias y no fue menos en dicha materia, donde ya se encontraron dientes implantados en piedra y metal noble o incluso dientes propios ferulizados con ligaduras de oro. A través de estas evidencias historias se

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

deja constancia de la importancia por la estética que existía desde el principio de los tiempos, evidenciándose en los restos fósiles de aquellas civilizaciones. Sin embargo, estos desarrollos en odontología fueron rudimentarios y poco exitosos, dada la escasa ingeniería médica disponible, así como la falta de otros elementos fundamentales en cirugía como los antiinflamatorios, analgésicos o anestesia.

La civilización maya también dio un gran valor a la salud oral y durante un tiempo colocaron los implantes dentales de conchas en cadáveres con la creencia de mejorar en la siguiente vida. De esta forma casual Amadeo Bobbio descubrió que en torno a estas conchas se había generado hueso, lo que indicaba, no sólo que se había colocado en vida, si no que fue la primera evidencia de osteointegración hasta el momento. También las civilizaciones fenicias y etruscas desarrollaron los primeros pónicos (Figura 1), ferulizando dientes a los que les añadían piezas protésicas (Salas- Luévano y Rivas-Guitierrez, 2001) .



Figura 1. Ligadura de piezas dentales reimplantadas con ligadura de oro (Cunha y cols., 2017)

La implantología como vertiente no fue tratada directamente hasta el siglo IV a. C con Hipócrates en su escrito “Corpus hippocratium” reconociendo las técnicas de reimplantación dentaria y la ferulización de dientes perdidos. Posteriormente dichos

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

remedios fueron empleados y documentados por Aurelio Cornelio Celso y actualizados por Claudio Galeno (Driskel, 1987).

1.1.3 Edad Media

Más recientemente aparecieron los primeros tratados de medicina donde se explicaban los procedimientos a seguir con el fin de sustituir dientes, fabricados mediante la preparación de huesos animales por Abulcasis. En su tratado sigue técnicas de Hipócrates para tratar la fractura mandibular, al igual que los dientes que estaban desplazados debían fijarse y ferulizarse mediante hilo de oro, plata o seda. Finalmente, el trasplante se abandona por motivos higiénicos y morales (Hoffmann-Axthelm, 1981; Salas- Luévano y Rivas-Guitierrez, 2001).

1.1.4 Edad Moderna

Los propósitos de desarrollar materiales implantológicos biocompatibles y exitosos continúan en el siglo XVIII. Algunos de ellos fueron los desarrollados por Pierre Fauchard (1678-1761) o John Hunter (1728-1793) representados en la Figura 2, quienes entre otras cosas llevaron a cabo la implantación de un diente humano en la cresta de un gallo (Quirynen y cols., 1992).



Figura 2. Retrato personal de Pierre Fouchard y John Hunter, respectivamente (Hunter, 2015; Lynch y cols., 2005).

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

1.1.5 Edad Contemporánea

El siglo XIX supone un auge en múltiples ciencias incluida la implantología, dando comienzo a la implantología endoósea. Maggiolo desarrolla las raíces de oro incrustadas en el hueso para soportar el peso de las coronas dentales. Otros autores como Harris y Berry estudian el empleo de distintos materiales como raíces artificiales, remarcando la importancia entre la colocación del implante y el lugar del lecho receptor.

Comenzando ya el siglo XX comienzan a instaurarse las bases de la implantología actual, mediante comunicaciones en congresos internacionales a través de los que se exponen procedimientos empleados para la colocación de prótesis fijas y removibles, así como los implantes roscados preformados (Driskel, 1987).

La interfase hueso-implante fue descrita y observada por primera vez a través del estudio histológico de Strock, uno de los padres de la implantología moderna junto a Venable, Alvin y Stuck. Durante esta etapa se trabajó y estudió mucho sobre materiales ideales en implantología como el Vitalio (cobalto, cromo y molibdeno) utilizado aún como material protésico (Balkin, 1988).

Los conocidos como implantes subperiósticos o yuxtaóseos fueron desarrollados por Muller en 1931 con la finalidad de evitar la perforación ósea y los procedimientos invasivos, para lo que tomaban una impresión ósea directa. Esta técnica ha ido evolucionando, siendo promovida en Europa por Dahl (1941) o por el español Salagaray siendo uno de los pioneros de la implantología de nuestro país (Ring, 1985).

1.1.6 Implantología moderna con Per-Ingvar Brånemark

Uno de los mayores avances en implantología fue en torno a 1952 con Per-Ingvar Brånemark siendo a través de varios experimentos en conejos a los que les implantó

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

cámaras de titanio en la tibia y tras un periodo de observación considerable para su correcta cicatrización, se observó que estaban ancladas siendo imposible retirarlas. A este hecho se le dio la importancia que merece, siendo años más tarde y en la actualidad conocido como “osteointegración” (1969) (Brånemark y cols., 1969).

Actualmente el material por excelencia empleado en implantes es generalmente el titanio, pues son muchas las evidencias científicas que demuestran sus buenos resultados a nivel de resistencia, estabilidad y biocompatibilidad, produciendo un proceso de osteointegración que no son capaces de inducir otros materiales (Matsunaga y cols., 2010). Otra alternativa que demostró buenos resultados en cuanto la osteointegración fue el zirconio, siendo un material cerámico empleado no sólo en implantología, sino también en la fase protésica aportando su gran ventaja estética. Sin embargo, su aplicación clínica ha sido considerablemente menor, debido a su elevado coste.

1.3 FRESADO QUIRÚRGICO

La confección del lecho implantológico es una de las fases clave dentro del proceso quirúrgico, siendo decisivo en etapas posteriores de osteointegración y es por este motivo que debemos darle la importancia que merece en la prevención de posteriores complicaciones. Previo al fresado óseo, la confección del lecho quirúrgico comienza con el despegamiento del colgajo mucoperióstico en el que la separación del periostio expone el hueso alveolar a la cavidad oral influyendo con ello en la fisiología ósea. Uno de los principales aspectos que debemos tener en cuenta al levantar un colgajo a espesor total es su impacto en el aporte de oxígeno y nutrientes al hueso alveolar, puesto que el periostio supone su principal aporte sanguíneo (Coelho y cols., 2010). El fenómeno que ocurre posteriormente de aceleración en la actividad celular en respuesta al cambio del aporte vascular o fuerzas mecánicas que se ejercen sobre el mismo se ha denominado “fenómeno

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

de aceleración regional” y está íntimamente relacionado con la reabsorción ósea traumática y una mayor remodelación ósea después del cierre del colgajo (Giro y cols., 2013).

Posteriormente, el proceso de remodelación periimplantaria y el diseño implantoprotésico influirán en la estabilidad del hueso marginal (Azcarate Velázquez, 2020). Con este fin, surgen técnicas complementarias a fin de fomentar dicha estabilidad en anatomía ósea estrecha, como la división del hueso o el injerto con material óseo particulado, así como la regeneración ósea guiada (Tolstunov y cols., 2019).

1.3.1 Definición

El fresado óseo quirúrgico en ciencias odontológicas se refiere a una intervención traumática cuyo propósito es crear un lecho receptor del implante o material de relleno, considerándose una de las técnicas más empleada en ciencias como la ortopédica, traumatológica o la cirugía oral implantológica, que al mismo tiempo generará un roce y corte continuo de la fresa con el hueso adyacente a la región preparada (Pandey y Panda, 2013). Este lecho debe cumplir una serie de parámetros de posición y angulación exactos, así como una temperatura y fuerzas de corte controladas para evitar posibles fracturas del instrumento o daño de los tejidos circundantes (Augustin y cols., 2012).

1.3.2 Diferenciación y geometría de las fresas implantológicas

En el marco actual del territorio nacional existen múltiples marcas y presentaciones comerciales de implantes dentales, variando sus características anatómicas y de tratamiento de superficie en base al resultado que se persigue conseguir, de acuerdo con las características del paciente. Dentro de las marcas más empleadas, nos centraremos en

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

los tipos de fresado establecidos en 3i, BTI, Phibo, Straumann, Galiimplant y Sweden y Martina.

Las fresas quirúrgicas dentales se definen como piezas rotatorias que se emplean para confeccionar el alveolo receptor del implante, siendo fundamentales durante el proceso y resultado obtenido para tal fin. Cuentan con un vástago conectado al contraángulo y un extremo cortante con espiras que pueden desgastarse de acuerdo con la modalidad de uso. Estos bordes cortantes se disponen en torno al eje de esta y permite definir la dirección del lecho receptor, disminuir de forma gradual el hueso circundante al y confeccionar así la forma y dimensión perseguida para envolver al implante (Tuijthof y cols., 2013).

En el ámbito quirúrgico oral contamos con una amplia variedad de fresas (Figura 3) para implantología, cumpliendo cada una con una función determinada y objetivos concretos de fresado.



Figura 3. Tipología de fresas lanceolada, helicoidales y avellanadoras, respectivamente.

Dentro de sus tipologías, las fresas de lanza son usadas para la marcación, perforación de la cortical ósea, delimitación de la dirección en profundidad que tendrá el implante, así como proporcionar una sensación táctil respecto a la densidad ósea. Estas últimas fresas pueden ser lanceoladas o helicoidales, mientras que las fresas conformadoras son

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

fresas de anatomía helicoidal que presentan bordes muy cortantes, especialmente en su extremo apical, siendo su diseño helicoidal y retentivo el que da lugar al ensanchamiento gradual y conformación final del alveolo quirúrgico donde será insertado un implante dental, en ocasiones, de acuerdo con su modo de uso con estas fresas es posible la recolección de hueso autólogo (Kerawala y cols., 1999). Por último, las fresas avellanadoras, cuyo uso se encuentra menos extendido, cuentan con un extremo cortante en forma cónica, coincidiendo su diámetro el de la plataforma del implante colocado, siendo su finalidad la de liberar la cresta ósea de la presión que ejerce el implante en su inserción a la altura del cuello de este (Islam y cols., 2022).

Todas estas modalidades de fresas se usan en gran medida con refrigeración al entrar en contacto con el tejido óseo, evitando de esta forma el sobrecalentamiento en el alveolo quirúrgico, el suero fisiológico es el medio irrigador utilizado con mayor frecuencia disminuyendo la temperatura, tanto de la fresa como el hueso. Por lo general, contamos con tres tipos principales de refrigeración con contraángulo, interna, externa o combinada (Barrak y cols., 2019; Favero y cols., 2018).

Varios autores recomiendan el sistema de irrigación interna durante la ostectomía puesto que ha demostrado ser un sistema con múltiples beneficios tanto en el lecho quirúrgico como en el sistema de fresado. Esta mecánica evita la obstrucción de las conexiones entre la fresa y el contraángulo, limpiando los residuos de hueso que se generan durante el acto quirúrgico, además de demostrar su eficacia en todo tipo de profundidades y fresados (Trisi y cols., 2014). La irrigación interna (extendida en odontología restauradora), consiste en una técnica que suministra el líquido de refrigeración a través de un orificio incorporado al contraángulo, que dependiendo del diseño de la fresa puede estar contiguo o en la base de esta. Uno de los inconvenientes

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

principales en el ámbito quirúrgico con este tipo de irrigación es el difícil acceso a la limpieza interna de la fresa y con ello, la retención de residuos biológicos origen de contaminación microbiana en el acto quirúrgico, motivo principal de su caída en desuso.

Por otro lado, la irrigación externa sí cuenta con un sistema abierto de dispersión mediante la solución de irrigación directa al hueso, siendo por ello la más empleada para la colocación de implantes dentales. Al mismo tiempo, aunque también es poco empleada, la irrigación doble o combinada de ambas técnicas, de forma que aumenta su eficacia, disminuyendo la temperatura del hueso durante la ostectomía. En este caso, la solución de suero se origina directamente desde la fresa y se aplica al hueso receptor (Strbac y cols., 2014).

1.3.3 Tipos de Fresado

La estabilidad periimplantaria y osteointegración que se obtiene tras la cirugía oral son los resultados que más se persiguen, a fin de conseguir una alta supervivencia y durabilidad de los implantes a largo plazo. Por un lado, diferenciamos la estabilidad primaria como aquella sujeción mecánica obtenida en el momento de la colocación, mientras que la secundaria se debe a la formación ósea estable en torno a la primaria. Gran parte de esta estabilidad y por tanto de la supervivencia del implante vendrá dada por la técnica de fresado empleada, dentro de las que destacan: fresado convencional, técnica de infrafresado y fresado biológico o a bajas revoluciones.

1.3.3.1 Fresado Convencional o Incremental

Esta modalidad de fresado ampliamente extendida, cuenta con múltiples protocolos en cuanto a velocidades de fresado, acotándose desde 800 rpm hasta 1500 rpm aproximadamente y enmarcándose en el fresado a altas revoluciones. Las células y tejido

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

óseo sobre el que actúa la perforación quirúrgica es termosensible, siendo su temperatura de base ideal unos 37°C, por encima de la misma se desencadenan daños o incluso muerte celular.

El fresado convencional o incremental se emplea con irrigación, mediante la aplicación de una secuencia preestablecida de fresas de diámetros sucesivamente superiores (Antonacci y cols., 2023; Frösch y cols., 2019). El motivo por el que se usa con irrigación es para disminuir el calor friccional generado en esta técnica quirúrgica (Bernabeu-Mira y cols., 2021; Islam y cols., 2022). Mediante varias formas de aplicación de dicho fresado se han obtenido resultados de osteointegración similares, siendo este valor más dependiente de factores como la densidad ósea preexistente (Benington y cols., 2002). Aunque la irrigación ha demostrado ser beneficiosa en cuanto a la preservación celular en el lecho quirúrgico, también ha demostrado eliminar sustancias propias del hueso como proteínas de señalización o sustancias que intervienen en la regeneración y osteointegración posterior. Estas sustancias se liberan tras la perforación ósea, a fin de reparar o restaurar el estado óseo inicial, siendo las proteínas de señalización las encargadas de transmitir al resto de células el daño tisular, a fin de desencadenar su reparación lo antes posible. Dado el bajo peso molecular de estas proteínas, el uso de irrigación sobre ellas ocasiona su disolución, dejando al tejido óseo desprovisto de las mismas.

En cuanto a la recolección ósea de hueso autólogo que podemos conseguir con esta modalidad de fresado, resulta limitada puesto que la propia irrigación tiende a desprender el tejido óseo sobrante en el fresado. Sin embargo, en casos donde se recolectó hueso autólogo procedente del fresado mediante aspiradores con filtro específico, se comprobó

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

que las partículas carecían de vitalidad, debido a la agresión mecánica excesiva sobre la superficie ósea.

Por otro lado, otras investigaciones sugieren que una velocidad de perforación baja puede generar más calor en frente a velocidades de fresado óseo altas debido a la tendencia del cirujano a aplicar una mayor presión vertical durante la preparación y durante periodos de tiempo más prolongados (Beer y cols., 2003).

A favor de dicha técnica, se ha demostrado que una velocidad de fresado baja puede aumentar exponencialmente la desviación en la trayectoria y dar como resultado una preparación excesiva del lecho durante la ostectomía (Mavrogenis y cols., 2009). Pese a los problemas que plantea la literatura relacionados con la disminución de las velocidades de fresado, una investigación reciente señaló que la aplicación de fresado biológico frente a convencional de 1000 rpm, 500 rpm y 100 rpm da como resultado una osteointegración exitosa, y densidades óseas periimplantarias similares (Anitua y cols., 2007).

1.3.3.2 Preparación quirúrgica mediante infra-fresado

Consiste en un protocolo de preparación quirúrgica, donde durante el fresado se confecciona un lecho de menor tamaño que el implante que se colocará, a fin de obtener una estabilidad primaria mayor, especialmente en casos donde la densidad ósea maxilar es muy baja (Jimbo y cols., 2014). Normalmente, esta técnica de subpreparación se consigue eliminando del protocolo de perforación ósea la última fresa, dando lugar así a un contacto directo entre hueso e implante, ayudando así a la estabilidad primaria y a un torque de inserción favorable. La interfase hueso-implante sufre una remodelación continua en la etapa de cicatrización, así como en la fase de carga protésica, que en preparaciones insuficientes puede dar lugar a una compresión lateral excesiva que afecta a la microcirculación y posterior necrosis ósea. Por este motivo, se puede decir que no

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

hay un protocolo de fresado estándar, sino que debe adaptarse a las características del hueso circundante, con el fin de evitar microfracturas de las corticales por un elevado torque, especialmente en corticales de elevada densidad (Campos y cols., 2012).

Durante los primeros indicios históricos de implantología oral se aplicaban protocolos estándar de carga protésica, la forma y el tratamiento de superficie de implantes era mucho más simple que en la actualidad. Por este motivo, no se aplicaron distintos protocolos de fresado de acuerdo con la densidad ósea, hasta que surgieron múltiples macrodiseños y se extendió el uso de la carga inmediata de forma habitual (Driskel, 1987).

Múltiples investigaciones han indicado una mayor supervivencia a largo plazo en implantes colocados a un torque de inserción mayor a 32N, sin obviar que su exceso también puede comprometer la interfase hueso-implante. De esta forma, un torque superior a 50-70N, desencadena microfisuras óseas (Ruiz Gómez, 2018), dañando de esta forma la microcirculación de la región quirúrgica y causando necrosis. Reforzando esta premisa, estudios en los que se aplica un torque superior de hasta 100N demuestran una inducción considerable a largo plazo de reabsorción ósea circunferencial en torno al implante. Por el contrario, otros estudios han indicado que alcanzar un torque elevado de más de 50N puede mejorar la tasa de supervivencia (Brizuela-Velasco y cols., 2015).

1.3.3.3 Fresado Biológico o a bajas revoluciones

Por otro lado, el fresado biológico o a bajas revoluciones (50 rpm-100 rpm) ha sido empleado extendidamente, a fin de controlar de forma más precisa la profundidad y dirección del lecho óseo conformado (Marzook y cols., 2022). En su caso, se podría corregir la trayectoria establecida en caso de desviarnos de la localización del implante.

Durante esta técnica no se emplea irrigación, lo que permite preservar factores favorables

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

en la posterior osteointegración como las proteínas morfogénicas o factores de crecimiento presentes en el tejido óseo (Mavrogenis y cols., 2009). Por tanto, el hueso circundante conserva mejor la vitalidad en la fase postquirúrgica, así como el hueso recogido resulta más favorable tanto en su empleo como integración posterior (Kim y cols., 2010).

Son muchos los estudios que demuestran una diferencia considerable en la regeneración ósea tras distintas velocidades y tipos de fresado, condicionadas todas ellas por la generación de calor en dichas regiones. Se ha demostrado, que si la temperatura de fresado supera los 50°C los daños óseos descritos son irreversibles, por este motivo, la limitación de temperatura se ha convertido en un desafío notorio durante el proceso quirúrgico, dado que su valor no se puede observar fácilmente (Karmani, 2006).

En cuanto a la velocidad de fresado, se conoce que casi todos los dispositivos y accesorios están diseñados para llegar a una velocidad máxima de 1450 rpm (Lundskog, 1972). No obstante, muchos estudios declaran que el fresado a altas revoluciones llega a producir un calor menor, puesto que requiere de un menor tiempo en contacto con el hueso, llegando algunos a emplear hasta 40000 rpm (Karaca y Aksakal, 2013). Otros autores no priorizan tanto la velocidad de fresado, si no que demuestran un mayor impacto del tiempo de fresado, estableciendo que cuanto menor es éste, menor probabilidad de osteonecrosis existe (Shakouri y cols., 2014). Pese a los múltiples estudios que existen al respecto, la controversia entre ambas formas de fresado es notoria, demostrando en muchos casos que la velocidad de avance de ambas es igual, con una mayor producción de calor mediante velocidades altas en fresado convencional (Lee y cols., 2012).

La irrigación durante el fresado puede interferir en una correcta visión durante el proceso quirúrgico, es por esto por lo que el fresado biológico sin irrigación, se ha descrito

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

como una técnica favorable, ayudando además en la recolección de hueso autólogo para posteriores injertos (Flanagan, 2010).

1.4 TEJIDO ÓSEO

El sistema esquelético humano está compuesto por múltiples huesos entre otras estructuras de tejido conectivo especializado y mineralizado que junto al resto de tendones, músculos y articulaciones dan lugar al conocido aparato locomotor (White y Folkers, 2005). La función principal de todo este sistema óseo será proporcionar soporte para la inserción muscular, protección de estructuras vitales, desencadenar parte de la hematopoyesis, siendo además un reservorio de calcio y fosfo(Moore y Dalley, 2002).

Estructuralmente, podemos diferenciar dos tipos de hueso: el hueso cortical o compacto y el hueso esponjoso o trabecular, ambos distribuidos en forma de matriz calcificada, que dependiendo de su organización espacial dará origen a uno u otro (White y Folkers, 2005). El hueso cortical o compacto está formado principalmente por anillos que circundan un canal longitudinal vascular conocido como conducto de Havers, presentes en huesos largos.

Por otro lado, el hueso esponjoso está formado por laminillas óseas distribuidas en forma de redes, presentando espacios huecos. Tanto éste como el hueso compacto son estructuras de gran vascularización e inervación, formadas por células especializadas y un componente extracelular, constituido por matriz orgánica y una proporción mineral (Fernández-Tresguerres-Hernández-Gil y cols., 2006).

1.4.1 Anatomía ósea maxilar

Si nos centramos en las estructuras óseas que nos competen, tanto maxilar como mandíbula presentan considerables diferencias anatómicas que van a condicionar los

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

datos obtenidos en densidad mineral ósea (DMO), la ubicación que presentarán los implantes osteointegrados, el torque de inserción o los resultados a largo plazo de estos.

El maxilar superior consta de una mayor proporción de hueso esponjoso y, por lo tanto, la porción densa de las corticales es más reducida, lo que le confiere menos consistencia y resistencia. Resulta importante tener en cuenta, que en áreas como la cortical externa incisal y canina es menos gruesa que la interna, igualándose a nivel molar.

A su vez, la mandíbula está compuesta por una mayor proporción de cortical, siendo la parte esponjosa de un 10-20% en región incisal y premolar. A diferencia del maxilar, en el hueso mandibular la cortical externa es más gruesa, y, en general, ambas corticales tienen mayor espesor al acercarse a la región molar (Von Wowern, 1986).

Existen estructuras anatómicas fundamentales que debemos tener en cuenta y conocer con exactitud a la hora de colocar nuestros implantes, sirviéndonos además de referencia para orientarnos en el espacio óseo.

Una de estas estructuras fundamentales, especialmente en pacientes edéntulos son los senos maxilares dado que ocupan, gran parte de la zona posterior del maxilar superior y se encuentran íntimamente ligados con las raíces de premolares y molares. En los pacientes con edentulismo, existe una reabsorción ósea marcada a causa de la progresiva disminución de la altura ósea, lo que suele dificultar considerablemente la colocación de implantes o incluso impedirlo totalmente (Wood y Moore, 1988).

Las fosas nasales también se encuentran estrechamente ligadas a la cavidad oral, ocupando la zona superior incisiva y resultan importantes por motivos similares a los indicados en el seno maxilar. En la región anterior a la altura de la sutura intermaxilar se ubica el conducto nasopalatino, cuyo interior deja paso al nervio nasopalatino y a la arteria

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

palatina anterior, motivo por el que se evita durante la cirugía de implantes (Delmas y cols., 2018).

En el hueso mandibular, destaca la localización de los forámenes mentonianos sirviendo de guía para delimitar la región anterior y posterior, su localización debe estar clara a fin de evitar secciones a esta altura. En zona ósea posterior el conducto dentario marcará el límite de colocación de nuestros implantes en profundidad. Su recorrido comienza en la cara interna de la rama ascendente mandibular, a nivel de la porción media, y por el interior del hueso mandibular continúa un trayecto descendente desde la cara interna a externa terminando en el foramen mentoniano (Ronay y cols., 2008). En su interior alberga el paquete vasculonervioso alveolodentario inferior, responsable de la sensibilidad en dicha hemiarcada tanto de los dientes, como de mucosas y piel del labio inferior. Será importante identificarlo con claridad, puesto que su localización cambia por ejemplo en pacientes con edentulismo completo, donde la altura ósea disminuye hasta encontrarse muy superficial a nivel supracrestal (Kingsmill y Boyde, 1998).

1.4.2 DMO

El hueso alveolar de maxilar y mandíbula que envuelve los dientes, se conocen como apófisis alveolares y están constituidas por las tablas corticales vestibular, lingual y una parte central compuesta de hueso esponjoso o trabecular conformado por trabéculas. Cuando se extraen los dientes estas apófisis sufren cambios estructurales y comienzan un proceso de involución que desencadena alteraciones dimensionales en el reborde alveolar. La gravedad del defecto óseo consiguiente dependerá de factores como la presencia de enfermedades sistémicas que influyan en el metabolismo óseo, patologías infecciosas periapicales y del fenotipo del paciente (Chappuis y cols., 2013).

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Los defectos en las corticales óseas vestibulares tienen un impacto negativo en la estética y suele ser un factor desfavorable en la colocación de implantes con posibles complicaciones posteriores. La estabilidad primaria de los implantes se caracteriza por la ausencia de movilidad de este en el lecho creado para su colocación y estará determinada por características basales como la densidad ósea y la estructura trabecular del hueso (Sennerby y Meredith, 1998). Conocer la DMO que nos encontraremos antes de comenzar el proceso quirúrgico será fundamental para aplicar la técnica quirúrgica más favorable para asegurar un torque de inserción suficiente.

Siempre partimos de estudios radiológicos a la hora de evaluar la planificación y posterior colocación de un implante dental, ya que supone la llave para conocer las características estructurales del tejido óseo maxilofacial.

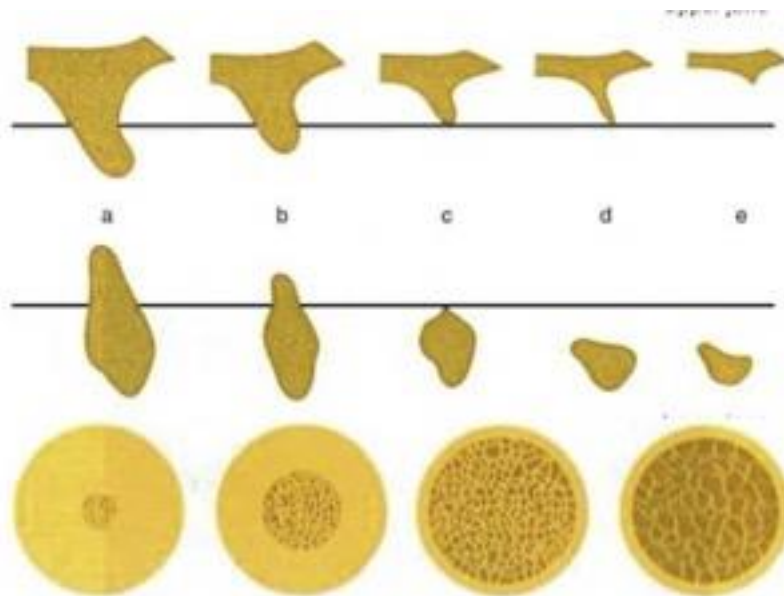


Figura 4. Clasificación de reborde alveolar edéntulo y tipología ósea (Lindhe y cols., 2005)

Existen múltiples clasificaciones que describen las tipologías óseas maxilares, destacando la descrita por Lekholm y Zarb (1985) según la cual los sitios edéntulos pueden ser clasificados en 5 tipos de acuerdo con el volumen remanente óseo. También clasificaron la DMO en cuatro clases, siendo la calidad 1 compuesta por hueso compacto

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

en su totalidad, la calidad 2 presenta una alta proporción de cortical rodeando al hueso trabecular, el tipo 3 consta de una fina capa de hueso cortical envuelto en una gran proporción de hueso trabecular y, por último, la calidad 4 presenta una fina capa de hueso cortical rodeando un núcleo de hueso trabecular de densidad muy pobre (Lindhe y cols., 2005).

Otra clasificación ampliamente extendida fue la empleada por Misch (Misch, 2009), en la que tuvo en cuenta las densidades óseas macroscópicas del maxilar y la mandíbula, diferenciando estos tipos: D1 (cortical densa) D2 (cortical media y trabéculas finas), D3 (cortical delgada y trabéculas finas) y D4 (trabéculas finas).

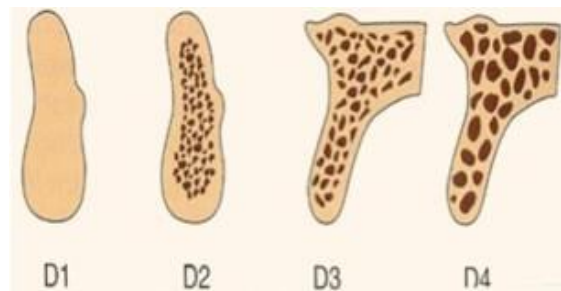


Figura 5. Clasificación de Misch sobre calidad ósea

(Misch, 2009)

1.4.3 Interfase hueso-implante

Conocido por sus siglas en inglés BIC (Bone to Implant Contact) se trata de la unión e integración directa entre la estructura ósea vital y el implante (Anitua y cols., 2007).

Esta unión será fundamental para una correcta osteointegración de los implantes, estando íntimamente ligada a la densidad ósea preexistente, la presión masticatoria ejercida, localización, tamaño y forma del implante, así como del material de este (Cho y cols., 2002). Este proceso de neoformación a través de osteoblastos es mediado por factores de crecimiento y citocinas, al mismo tiempo que se somete a cierta reabsorción por parte de los osteoclastos.

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

El hueso alveolar por sí mismo presenta una elevada tasa de recambio a lo largo de la vida, siendo dependiente de múltiples factores. Esta evolución con el paso de los años se traduce en una formación de hueso nuevo cuando aumenta la función masticatoria y a una disminución cuando la misma disminuye (Caneva y cols., 2010). Al mismo tiempo, factores externos como el tabaco o internos a nivel sistémico como la diabetes pueden conducir a cambios en el hueso alveolar. Del mismo modo, tras una cirugía implantaria se produce una remodelación ósea conocida como osteointegración que constituirá una relación directa entre hueso-implante, careciendo los mismos de tejido periodontal. Las fases de este proceso son (Wennerberg y Albrektsson, 2009):

- Osteoconducción: fase en la que aparece en torno al implante un lecho de tejido conectivo y coagulación sanguínea que madurará con el paso de los días a tejido de granulación.
- Modelado: los osteoclastos comienzan a aparecer reabsorbiendo de forma gradual el hueso avascular. Al mismo tiempo el tejido conectivo rico en vasos madurará formando un osteoide que formará el hueso reticular.
- Remodelado: el hueso reticular es reemplazado por hueso laminar y médula ósea, con la intervención de los osteoclastos. En torno a la octava semana, todas las porciones de hueso original habrán sido sustituidas por hueso nuevo.

La implantología oral es una de las ciencias odontológicas que más impacto y evolución han supuesto para las rehabilitaciones orales de nuestros pacientes, dadas sus elevadas posibilidades y éxito (Degidi y cols., 2011). Gran parte del éxito conseguido en estos tratamientos se basa en la elevada planificación y predictibilidad conseguida mediante las pruebas de imagen, como la ortopantomografía o la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT). Mediante estos análisis de imagen observamos

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

la ausencia de patologías óseas, así como estructuras importantes de preservar como el canal dentario o los senos maxilares. La medición cuantitativa de densidad ósea puede ayudar también en la predicción de estabilidad del implante o las posibilidades de osteointegración, siendo los índices radiomorfogénicos las herramientas principales en la detección de cambios óseos maxilares.

Durante este proceso, la carga protésica asociada al implante resulta un factor fundamental a tener en cuenta para fomentar y conservar dicha formación ósea. La Ley de Wolff vincula este factor biomecánico relacionando los movimientos oclusales con una respuesta ósea de cambio de forma y densidad. La mayor parte de la tensión transmitida en el caso de los implantes se transmite a nivel de la cresta ósea

Durante la fase de cicatrización, también ocurre una pérdida ósea sobre todo vertical a nivel de cresta (Albrektsson y cols., 1986). Entre los factores que se han planteado en la literatura de dicha pérdida, está el calor generado durante el fresado, considerando una pérdida ósea normal a la comprendida entre 1-1.5 mm en el primer año post-implantes (Ohta y cols., 2010; Vázquez Álvarez, 2014).

Uno de los síntomas más evidentes de un fracaso en la interfase hueso-implante es la macromovilidad, la cual se puede observar a simple vista y se considera cuando el desplazamiento es mayor a 0,5 mm. Por otro lado, también existen micromovilidades que no son apreciables a simple vista pues su magnitud es de 0,1-0,5mm. Este parámetro deberá ser controlado ya desde el inicio de la colocación del implante al igual que la estabilidad primaria, a fin de evitar la formación de tejido fibrótico. Estos micromovimientos se ha demostrado que no deben exceder la capacidad de deformación propia del hueso para conseguir una correcta osteointegración, por lo que surgen varias técnicas para su medición (Gao y cols., 2013):

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

- Test de torque: considerándose un método invasivo, pues su dinámica consiste en girar en sentido anti-horario la llave dinamométrica del implante hasta el torque de inserción (35N), de esta forma el riesgo de extraer el implante es considerable (Brizuela-Velasco y cols., 2015).
- Periotest: inicialmente creado para medir la movilidad dentaria y posteriormente para medir el grado de osteointegración de los implantes. Consiste en un método de percusión mediante una punta que golpea el implante y mide la capacidad de este de amortiguación, así como la movilidad (Schulte y Lukas, 1992). Sin embargo, su uso en este ámbito ha sido limitado, pues aún está en revisión la sensibilidad de dicha técnica, siendo dependiente a los factores como el hueso circundante o la longitud implantaría.
- Análisis de frecuencia de resonancia: siendo el más extendido por su alta precisión. Consiste en el empleo de frecuencia de oscilación del implante en el hueso, lo que en una osteointegración adecuada se traduce en un valor superior a 57N, lo que equivaldría a micromovimientos menores a 150µm y a una estabilidad adecuada. Lo conveniente en casos ya osteointegrados es llevar a cabo mediciones inmediatamente postquirúrgicas y tras unos 3-4 meses para comparar estos parámetros, los cuales deberán aumentar durante ese periodo (Hériveaux y cols., 2021).

1.5 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL SENO MAXILAR

El seno maxilar comienza su desarrollo durante la décima semana de vida intrauterina en forma de evaginación de las fosas nasales que ocupan progresivamente las paredes laterales y se introduce en ellas. El seno maxilar desciende durante la duodécima semana, hacia adelante y atrás. En el neonato se presenta como un espacio de 6-8 ml de volumen,

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

casi indetectable radiográficamente hasta el cuarto o quinto mes de vida neonatal (Radi y cols., 2003; van den Bergh y cols., 2000).

Teniendo en cuenta la localización de dicha cavidad anatómica, su desarrollo se encuentra íntimamente relacionado con el desarrollo dental, puesto que en su interior comienza la formación de los molares temporales y posteriormente los definitivos. Con la erupción del primer molar, en torno a los seis años, inicia su expansión vertical dentro del hueso malar (Underhood, 1910; van den Bergh y cols., 2000). De acuerdo con las delimitaciones morfológicas del seno maxilar establecidas por Arthur Underwood (Underhood, 1910) se podría dividir en tres compartimentos.

a) Anterior: alberga el germen del segundo premolar, delimitándose del compartimento medio por un septo.

b) Medio: ubicado en una posición más posterior y profunda en relación con el anterior, ocupado por el primer molar.

c) Posterior: porción localizada en la región más alta, vinculada al germen del segundo molar (Radi y cols., 2003)(Haga clic o pulse aquí para escribir texto..

Nathaniel Highmore describió inicialmente el seno maxilar en 1691, confiriéndole a este espacio la denominación de antro de Highmore, aunque también existen evidencias más antiguas referenciadas por Hipócrates (siglo V a. C.), Ingrassius (1891), Julius Casserius (1612) y Berenger de Carpi (siglo XVI) (Lund, 2002). El seno maxilar es una cavidad con forma triangular, con su base hacia la pared nasal lateral y uno de sus vértices extendido dentro del proceso zigomático maxilar (Misch, 2009). Se encuentra delimitado por tres paredes, una pared superior u orbitaria constituida por una separación ósea densa que lo aísla de la cavidad orbitaria, también una pared posterior pterigomaxilar, formada por la parte posterior del maxilar, al mismo tiempo limitada por las fosas craneales

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

infratemporal y pterigopalatina, así como una pared anteroinferior que se relaciona con las mejillas en su parte externa (Sharan y Madjar, 2006).

1.5.1 Estructuras importantes y variables anatómicas del seno maxilar

El seno maxilar está protegido en su interior por una delgada capa de epitelio respiratorio ciliado, el cual presenta comunicación estrecha con el epitelio nasal, siendo de un grosor medio y una menor vascularización que la mucosa nasal propia. Por otro lado, comunicando esta membrana se encuentra el ostium, cuya finalidad principal es la limpieza mucosa (Radi y cols., 2003) situado hacia la región craneal y conecta el seno maxilar al meato medio de la cavidad nasal. En la zona anterior, el seno maxilar llega generalmente hasta la región anatómica de canino y primer premolar por lo general, aunque existen múltiples variaciones individuales (van den Bergh y cols., 2000).

A su vez, esta cavidad suele estar parcialmente delimitada por la existencia de tabiques incompletos de orientación aproximadamente vertical, llegando eventualmente (prevalencia del 5%) a dividir el seno en dos o hasta cinco cavidades diferentes (Gosau y cols., 2009). Múltiples estudios mediante su diagnóstico quirúrgico y radiográfico demuestran que su prevalencia oscila de un 13 a un 67%, confiriendo con su presencia riesgos y complicaciones añadidas en la cirugía de implantes con elevación sinusal (Ella y cols., 2008; W. J. Lee y cols., 2010).

1.5.2 Fisiopatología de las elevaciones sinusales

Previo a cualquier intervención quirúrgica que invada el seno maxilar, el especialista deberá conocer y prever el impacto en la fisiología del seno para evitar complicaciones posteriores indeseadas que puedan comprometer la supervivencia de la cirugía implantológica (Testori, 2011). Por tanto, el primer paso será el de llevar a cabo un

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

diagnóstico preventivo para descartar cualquier enfermedad nasosinusal que pueda llevar a complicaciones o fracaso de la cirugía; al mismo tiempo, se debe eliminar cualquier hallazgo patológico que represente un riesgo reversible en la elevación de seno (Aghaloo y cols., 2017)

En ocasiones, se recomienda una profilaxis antibiótica previa con el fin de reducir el riesgo de complicaciones postquirúrgicas, así como un programa para dejar de fumar, evitar la deshidratación y la inhalación de contaminantes, la exposición a bajas temperaturas o aire seco y el uso de fármacos derivados de la atropina. Con el fin de evitar efectos indeseados en dicha intervención, resulta de vital importancia que el cirujano implantólogo tenga un conocimiento de la fisiología sinusal para poder colaborar activamente con el otorrinolaringólogo ante cualquier complicación (Timmenga y cols., 2003).

Cualquier intervención quirúrgica o no, donde se invada el seno maxilar activa los mediadores inflamatorios celulares desencadenando con ello una sinusitis transitoria que es directamente proporcional al área sinusal expuesta (Tözüm y cols., 2009). La elevación de la membrana de Schneider puede obstruir el drenaje maxilar fisiológico a través del ostium a la fosa nasal, pudiendo a su vez inhibir de forma temporal e impredecible la actividad mucosa y desencadenar una composición anormal del moco causada por infecciones bacterianas o fúngicas. Otras complicaciones que pueden darse son la perforación de membrana (prevalencia de hasta el 56%) (Kasabah y cols., 2003), edema perióstico reversible, elevación excesiva en presencia de quistes antrales, o partículas de injerto óseo que perforan y pueden bloquear el ostium (Shao y cols., 2021; Wang y cols., 2023).

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Existen evidencias que muestran la recuperación temprana de la mucosa sinusal ante cualquier daño o laceración consecuente a la cirugía (Kato y cols., 2021), sin obviar que toda intervención de elevación sinusal afecta temporalmente la fisiología propia del seno y si no se desarrolla con los cuidados y conocimientos adecuados puede comprometer la recuperación posoperatoria y causar sinusitis bacteriana, poniendo en riesgo el resultado quirúrgico y la calidad de vida del paciente. Se ha demostrado que uno de los aspectos fundamentales para que la mucosa maxilar presente una recuperación óptima, es que el drenaje del seno sea adecuado (Timmenga y cols., 2003).

El hallazgo radiológico o histológico de inflamación posoperatoria leve en mucosa del seno maxilar debe considerarse una reacción del sistema de defensa de las vías respiratorias de la mucosa, viéndose también en sujetos sanos que no se han sometido a cirugía (Mahesh y cols., 2020).

Esta capacidad regenerativa intrínseca de la mucosa sinusal para recuperar su estado inicial tras el trauma quirúrgico causado por la elevación de seno se ha definido como “distensibilidad sinusal”, en la que cuanto mejor el estado inicial, menor será el riesgo de fracaso quirúrgico (Yeung y cols., 2022). Un riesgo excesivo por condiciones anatómicas o patológicas iniciales debe considerarse una contraindicación directa para llevar a cabo el procedimiento. Por este motivo, se deberá evaluar individualmente la distensibilidad sinusal, lo que implica obtener una historia clínica cuidadosa para detectar cualquier trauma o cirugía nasal anterior, obstrucción respiratoria nasal o enfermedad nasosinusal recidivante o crónicas (Testori, 2011), la presencia de cualquier enfermedad sistémica, hábitos de vida nocivos o enfermedades dentales.

1.5.3 Materiales de relleno óseo

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Durante el tratamiento quirúrgico de elevación sinusal, se pueden emplear distintos materiales de relleno óseo, todos ellos con distintas características biológicas y estructurales, por lo que en ocasiones se combinan a fin de conseguir buenos resultados de osteointegración a largo plazo (Misch y Dietsch, 1993). A continuación, nos centraremos en algunos de los materiales de regeneración ósea más extendidos y empleados en nuestro estudio, como son los xenoinjertos, materiales aloplásticos y membranas reabsorbibles.

1.5.3.1 Xenoinjerto y materiales aloplásticos

Los rellenos óseos procedentes de especies animales distinta a la especie humana son conocidos como xenoinjertos (Berglundh y Lindhe, 1997). Dentro de sus componentes, destacan la hidroxiapatita (HA) y el hueso bovino desproteínizado (DBB), como por ejemplo *Endobon* de Zimmer empleado en nuestro estudio. La disponibilidad del hueso bovino por lo general es casi ilimitada y cuenta con una estrecha similitud en su composición fisicoquímica con las características del hueso humano (Artzi y cols., 2000). Desde su aparición hasta la actualidad, el hueso corticoesponjoso bovino se ha considerado el material de elección en procesos de cirugía bucal y elevación sinusal, contando con un extenso respaldo científico con numerosos estudios que demuestran el éxito de este procedimiento regenerativo en pacientes sometidos a aumento de seno maxilar utilizando DBB (Van Steenberghe y cols., 2000).

Al mismo tiempo, se han estudiado otros materiales alternativos de xenoinjertos procedentes de distintos animales, a fin de emplearlos en defectos óseos varios e investigaciones dentro de la rama odontológica, buscando con ello evitar la transmisión de enfermedades propias del ganado bovino (Jensen y cols., 2012). El relleno compuesto por hueso porcino desproteínizado ha resultado ser una buena alternativa al DBB, siendo

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

testado en varios estudios donde se ha aplicado en tratamientos quirúrgicos dentales. Esta gran variedad de materiales nos permite múltiples posibilidades de tratamiento, es por ello por lo que debemos conocerlos bien, pues su proceso de osteointegración y degradación están influenciados por propiedades fisicoquímicas del material, como el tamaño del gránulo, la morfología, la cristalinidad, la porosidad, la rugosidad de la superficie y la relación calcio/fosfato en la composición (Carvalho y cols., 2007). La investigación extendida de este proceso recalca la gran importancia de clasificar los materiales utilizados, a fin de emplearlos bajo las condiciones más favorables dado que son muchas las alternativas disponibles, pero no existe un material ideal de elección, por lo que queda bajo criterio del cirujano (Nevins y cols., 2011).

Los sustitutivos óseos de relleno xenógeno tienen una actividad únicamente osteoconductor, sirviendo de soporte al nuevo hueso integrado. La HA es uno de los constituyentes inorgánicos principales del hueso humano y se ha llegado a aplicar en múltiples enfermedades óseas, dados sus excelentes resultados en cuanto a biocompatibilidad (de Azambuja Carvalho y cols., 2019). Se puede obtener de forma natural extrayéndose de animales o bien de forma artificial mediante aloinjertos, contando con una microestructura tridimensional de elevada biocompatibilidad e integración con los tejidos blandos y duros circundantes. El DBB tiene como componentes elementales el carbonato, combinado con la estructura cristalina de la apatita, así como calcio y fosfato en proporción similar a la estructura ósea mineral de humanos. El DBB tiende a ser reemplazado por hueso autógeno con el paso del tiempo, sin embargo, se trata de un material de lenta reabsorción, llegando a durar el proceso desde 2 hasta 10 años después (Julio y cols., 2017).

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Pese a los buenos resultados obtenidos con este tipo de sustitutivos óseos, también debemos tener en cuenta su mayor índice de rechazo por parte del huésped, así como su fácil desplazamiento si no está bien fijado. Los xenoinjertos han demostrado mantener una correcta simbiosis al incorporarse con el hueso natural, pero su baja tasa de reabsorción puede influir al mismo tiempo de forma negativa en la osteointegración posterior comprometiendo la evolución mecánicas y biológicas del hueso nuevo (Manfro y cols., 2014).

1.5.3.1 Membranas reabsorbibles

Las membranas de colágeno resultan ampliamente utilizadas en elevación sinusal, dadas sus características favorables y maleabilidad, evitan la perforación de la membrana de Schneider por las partículas de hueso. En la práctica quirúrgica actual se componen principalmente de colágeno tipo I, aunque también las hay compuestas por colágeno tipo I y tipo III, cuya procedencia suele ser bovina o porcina, de regiones ricas en este compuesto como tendones o piel (Bunyaratavej y Wang, 2001). Existen múltiples ventajas por las que favorece emplear este compuesto en las membranas barrera, que incluyen: su hemostasia, activación de la llegada de fibroblastos del ligamento periodontal y fibroblastos gingivales, alta biocompatibilidad, manipulación y modificación sencillas, favoreciendo la osteoconducción y favoreciendo el aumento de tejido blando (Oh y Kraut, 2011).

El colágeno de las membranas tiende a degradarse con el paso del tiempo, debido a la actividad enzimática de macrófagos y leucocitos que permiten su rápida degradación, especialmente tras su exposición a la cavidad oral pues favorece la reepitelización espontánea en un periodo de 2 o 4 semanas y sin cirugía secundaria como ocurre con las membranas de titanio. Existe una propiedad característica de estos materiales, que es su

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

entrecruzamiento, siendo este directamente proporcional a la tasa de reabsorción, cuando presentan mayor entrecruzamiento estas membranas de colágeno tienden a reabsorberse más lentamente, pudiendo ocasionar reacciones de inflamación severa y reabsorción del área injertada (T.-Ju. Oh y cols., 2003).

1.5.4 Elevación sinusal con ventana lateral aplicada en implantología oral

Esta técnica quirúrgica se recomienda en implantología oral cuando existe una atrofia leve o moderada en regiones del maxilar posterior, en las cuales existe una altura crestal insuficiente para la colocación de implantes osteointegrados, comprendida por lo general en 4 mm o menos de hueso residual (Wallace y cols., 2012). En caso de que la atrofia ósea no sólo haya comprometido la región cercana al seno, si no que haya generado un ancho crestal insuficiente (menor de 6 mm) o un aumento significativo del espacio protésico interarcada, será necesaria una cirugía reconstructiva adicional además de la elevación sinusal propiamente dicha (McAllister y Haghghat, 2007).

La colocación simultánea o diferida de los implantes dependerá de factores cruciales como la cantidad y calidad ósea existente, aunque sigue siendo motivo de controversia, pues son muchas las variables implicadas en esta evaluación prequirúrgica. Es posible conseguir una estabilidad adecuada al colocar implantes con menos de 2 mm de hueso residual, sin embargo, el riesgo de fracaso temprano del implante es elevado en estos casos si los implantes tienen exposición antes de la maduración del injerto óseo. En caso de darse exposición implantológica, los tejidos circundantes reaccionan formando la conocida anchura biológica y con ello una reabsorción adicional de 1,5-2 mm (Lin y cols., 2011). Con esta pérdida de inserción, a su vez, puede verse comprometida la estabilidad primaria al perder el contacto hueso e implante en la región crestal, antes del establecimiento de la estabilidad secundaria. La pérdida de inserción mencionada se da

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

con mayor frecuencia en biotipos delgados con menos de 1-1,5 mm de espesor (Abraham y cols., 2014)

Por tanto, en regiones posteriores superiores con menos de 3 mm de hueso residual, se recomienda de acuerdo con la evidencia clínica, planificar un abordaje diferido tras el injerto asociado a elevación sinusal. Una alternativa son los implantes cortos, en los que se requiere de un mínimo de 7 mm de hueso residual, aunque existen evidencias que no recomiendan el uso de este tipo de opción quirúrgica (Handschel y cols., 2009).

Durante este proceso quirúrgico se comienza aplicando anestesia, siendo el anestésico local ideal de rápido inicio y larga duración, como la articaína al 4% con epinefrina 1:100000 que alcanza hasta una hora de duración. Por lo general, con dos carpules de anestésico es suficiente para un correcto bloqueo y además de la infiltración facial y palatina, se debe reforzar el foramen palatino posterior a fin de asegurar una anestesia adecuada de la pared del seno medial (Lin y cols., 2011).

Una de las fases fundamentales previa a la elevación sinusal será la confección adecuada del colgajo quirúrgico, siguiendo las premisas básicas de manejo lo más atraumático posible, acceso adecuado a la pared sinusal, así como correcto suministro vascular en la región de tejido blando seccionada (Wallace y cols., 2012). La incisión en el espacio edéntulo se llevaría a cabo en mitad de la cresta, para un correcto acceso y posterior reposición del colgajo, sin embargo, su localización dependerá del lugar de la ventana quirúrgica. En casos donde de ventana queda muy cerca del límite crestal por defectos óseos severos, se recomienda extender la incisión a palatino, con el fin de no suturar la membrana injertada y evitar su posible exposición y compromiso del injerto óseo. Respecto a las descargas de dichos colgajos, dada su proximidad debemos tener en

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

consideración la rama del nervio infraorbitario, evitando su sección se traslada a la zona medial de canino o lateral (Kotsu y cols., 2022).

La elevación traumática también se conoce como antrostomía lateral y con ella se proporciona el acceso a la cavidad sinusal a fin de conseguir la elevación sinusal de la membrana de Schneider, teniendo en cuenta todos los factores sinusales anteriormente mencionados, así como la ubicación de la arteria alveolar posterior superior (AAPS) íntimamente relacionada con el suelo del seno maxilar (Wallace y cols., 2012). El tamaño de la ventana viene determinado por múltiples factores, como la presencia de tabiques u obstáculos anatómicos, en los que una apertura amplia permitirá mejor acceso a ambas paredes del tabique disminuyendo los riesgos asociados en dichas regiones. Por el contrario, una antrostomía lateral amplia disminuye el aporte vascular en la zona de injerto, pudiendo influir en la formación y maduración ósea posterior (Avila-Ortiz y cols., 2012), pero no en la supervivencia del implante. En cuanto a su localización, determinados autores recomiendan que se lleve a cabo de acuerdo con las características anatómicas individuales, por lo general a unos 2 o 3 mm coronal al suelo del seno maxilar, variando su tamaño con la anatomía sinusal y el injerto previsto.

Uno de los accesos laterales más extendidos se trata del diseño de antrostomía simplificada (SAD), el cual se lleva a cabo partiendo de la planificación en CBCT y consiste en realizar una ventana de unos 3 o 6 mm a distal del lugar donde se intuye la localización de la pared anterior de seno, extendiéndonos seguidamente hacia la región anterior para llegar a la ubicación real de esta pared anterior y ampliaremos la ventana distalmente en base a la anatomía interna y el número de implantes colocados.

Los instrumentos empleados para el acceso lateral son fundamentales para disminuir las complicaciones asociadas de perforación sinusal, puesto que los instrumentos

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

rotatorios normalmente empleados no distinguen entre tejidos duros y blandos, comprometiendo su integridad. Inicialmente, se comenzó usando motores de implantes de baja velocidad para marcar la ventana lateral con fresas redondas de carburo de tungsteno o diamante y posteriormente también se usó el contraángulo de alta velocidad. Fue con posterioridad cuando se aplicaron técnicas más sofisticadas con piezoeléctrico, siendo más respetuosos con los tejidos blandos y reduciendo de forma considerable las complicaciones de perforación en dicha región (Vercellotti, 2004). Esta técnica consiste en vibraciones ultrasónicas de baja frecuencia que permiten cortar tejidos duros sin dañar la membrana de Schneider (incidencia de perforaciones de 3,6-8%), empleándose tanto en cirugía oral como maxilofacial (Blus y cols., 2008; Jordi y cols., 2018; Toscano y cols., 2010).

Las etapas quirúrgicas anteriormente mencionadas, se simplifican drásticamente gracias a los exámenes radiográficos de CBCT los cuales desarrollaremos en el siguiente apartado, que permiten no sólo evaluar el hueso remanente previo, sino también la ganancia ósea que se produce pasado un periodo de tiempo.

1.7 RADIODIAGNÓSTICO EN IMPLANTOLOGÍA

Las consultas odontológicas son cada vez más frecuentes en la población, es por este motivo que para mejorar la precisión en nuestros diagnósticos se han introducido múltiples pruebas radiográficas con dicho fin. En el ámbito quirúrgico dental que nos concierne nos ofrecen la oportunidad de evaluar algunos aspectos relacionados con el hueso maxilar del paciente, como los relativos al trabeculado óseo, DMO o grosor cortical mandibular (GCM). Estos análisis se pueden realizar en radiografías panorámicas, ya que es un examen accesible. Varias otras técnicas además del espesor cortical mandíbula también son propuestas por la literatura (Alman y cols., 2012; Barnngkei y cols., 2014).

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Las ortopantomografías (OPG) o radiografías panorámicas proporcionan información en dos dimensiones para ayudar en el diagnóstico y pronóstico de las cirugías llevadas a cabo, así como la calidad ósea que nos ofrece el hueso receptor de implantes, a un costo aceptable y una radiación muy reducida. Este tipo de pruebas radiográficas en odontología se llevan a cabo cuando están indicadas, sirviendo de herramienta de apoyo en la identificación de formaciones quísticas, defectos óseos, además de guiarnos en el tipo de fresado conveniente de acuerdo con la densidad ósea circundante. Sin embargo, otras investigaciones demuestran que estas radiografías dentales, aunque se empleen continuamente en la práctica clínica, tienen limitaciones en tales fines, ya que muestran superposición de estructuras anatómicas, cierta distorsión geométrica, además de limitaciones de visualización por defectos intraóseos (Dos Santos Corpas y cols., 2011).

Otra de las pruebas radiográficas ampliamente extendida en la consulta dental es el CBCT, siendo también de las más empleadas por distintos estudios de densidad ósea dental en la última década, sobre todo porque superan las limitaciones que presentan las pruebas en 2D, es decir, las radiografías panorámicas convencionales (Patel, 2009). Uno de los aspectos fundamentales y más importante por el que dicha prueba es más ventajosa, se debe a que proporciona diferentes cortes de la superficie de estudio, permitiendo al clínico trabajar y visualizar la región anatomía en tres dimensiones (Dos Santos Corpas y cols., 2011). Además del estudio radiológico, el estudio de la microarquitectura ósea a través del cálculo de la dimensión fractal, podría ayudarnos a tener una mayor predictibilidad tanto prequirúrgica como en el éxito postoperatorio.

El uso de las pruebas CBCT remonta al año 1988, con múltiples aplicaciones en distintas especialidades médicas, como es en el ámbito de la cirugía oral. A nivel diagnóstico nos proporciona muchas ventajas frente a radiografías convencionales

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

(OPG), siendo la principal la libertad de obtener imágenes en tres dimensiones (le Corroller y cols., 2012). Si lo comparamos con la tomografía axial computarizada convencional (TAC) el CBCT emite una radiación menor incluso cuando se realizan en campos de visión (FOV) pequeños. Los FOV grandes no afectan a la región de interés (ROI), sin embargo, pueden irradiar hasta 19 veces la cantidad aplicada en FOV reducidos (Pauwels y cols., 2015).

Todas estas evaluaciones por imagen, pese a su gran utilidad, se limitan a mediciones dimensionales y visuales, por lo que dependen del análisis de la densidad ósea para evaluar el tejido circundante. Este parámetro resulta dependiente de factores como el voltaje (kV), tiempo de exposición (mAs) y el tamaño del vóxel, por lo que surge la necesidad de aplicar una técnica o herramienta que proporcione resultados estables independientemente de dichos factores (Hua y cols., 2009). Está científicamente comprobado que el tamaño de los vóxeles obtenido por el CBCT resulta variable e inestable, siendo el motivo principal por el que se plantea el análisis fractal como una técnica prometedora para evaluar el tejido óseo periimplantario (González-Martín y cols., 2012).

1.8 CONCEPTO Y APLICACIONES DE DIMENSIÓN FRACTAL (DF)

La definición propiamente dicha de DF enmarca una técnica matemática que habilita la cuantificación de estructuras complejas que no se puede calcular usando matemáticas convencionales (Sánchez y Uzcátegui, 2011). Dicho cálculo mide el nivel de irregularidades de formas y objetos, y su valor directamente proporcional a su complejidad (Backes y Bruno, 2012). Esta técnica ha sido utilizada en los últimos años en varias áreas médicas para el análisis de tejidos óseos en distintas regiones anatómicas, entre ellas la odontología (Sánchez y Uzcátegui, 2011).

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

La densidad ósea depende tanto de la estructura espacial como de su composición elemental. Teniendo en cuenta el concepto mencionado, podemos decir que cuanto mayor es el nivel de complejidad de una imagen determinada, mayor será la DF obtenida. Esta técnica se ha estudiado y extrapolado a múltiples pruebas de imagen, como radiografías convencionales, mamografías, tomografías computarizadas (TC), así como resonancias magnéticas. La DF se plantea como una opción viable en el cálculo de la densidad ósea dado que el hueso sufre fuertes cambios en su anisotropía durante algunas condiciones como la osteointegración periimplantaria. Esta anisotropía es conocida como una propiedad relacionada con la disposición de la estructura analizada, y tiene una fuerte correlación con la dirección y posición del material que compone esta estructura (Alman y cols., 2012).

Para que cualquier análisis radiográfico sea eficaz debe ser independiente de factores como las variaciones en la técnica de adquisición de la imagen, además de garantizar su reproducibilidad. Por este motivo principal, los análisis que evalúan puramente la escala de grises (DEG), como ocurre en las Unidades Hounsfield (UH) estandarizadas en estudios de imagen, podrían no proporcionar un resultado fiel. La técnica de DF no solo no es sensible a estas variaciones, si no que tiene como objetivo cuantificar estructuras complejas, es decir, transformar una imagen en un número. Sin embargo, debemos tener en consideración que esta técnica sí resulta sensible a la forma y tamaño de las ROI seleccionadas (Backes y Bruno, 2012; Bollen y cols., 2001).

Como hemos nombrado con anterioridad, la DF es una herramienta fácil de adquirir y de mayor precisión que otras técnicas, a través de la cual podemos evaluar cuantitativamente las formas geométricas que dan lugar a patrones y texturas en la imagen radiográfica. En el ámbito odontológico se aplica frecuentemente en radiografías

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

panorámicas y periapicales, para analizar el trabeculado óseo, los cambios en el hueso, regeneración del tejido periimplantario, así como algunas afecciones quirúrgicas como la periimplantitis (Updike y Nowzari, 2008).

El DF representa un análisis que da como resultado un número único a través de un algoritmo específico calculado a mediante distintas aplicaciones. Fuera del ámbito odontológico también se aplica para observar el trabeculado óseo en otras especialidades médicas, por ejemplo, en afecciones sistémicas como la osteoporosis o el cáncer de mama. El método más utilizado para adquirir del DF es el algoritmo de conteo de cajas, aplicado a imágenes binarias. Esto se hace a través análisis de los patrones y formas generados por las trabéculas óseas, donde la imagen es seguida en varios cuadrados dentro del mismo plano y en cada cuadrado es contando y analizando los píxeles, generando así el número que representa el DF (de Molon y cols., 2015).

El principal examen radiográfico dental en el que se ha aplicado el análisis fractal es en la OPG teniendo como objetivo principal en todos ellos la evaluación de los cambios óseos detectables (Torres y cols., 2011). La DF se puede obtener a través de distintos programas disponibles, siendo el más utilizado para este fin NIH ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij>). Mediante esta aplicación se determina la ROI sobre los cuales se realiza fácilmente el análisis fractal (Rasband, 2016).

1.8.1 Antecedentes

El término de análisis fractal propiamente dicho se remonta al autor Mandelbrot, procedente del latín donde “fractal” se traduce a fractura. Este autor destacado empleó el análisis fractal para identificar distintas formas geométricas curvas, superficies y muchas otras desconocidas. Estas formas fueron extrapoladas posteriormente por los investigadores, a fin de describir y medir la morfología del mundo natural (Mandelbrot,

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

1983). Dada su amplia repercusión, el análisis fractal se ha aplicado para describir los precios de la bolsa de valores, estructuras celulares e histológicas, ramificaciones pulmonares o incluso sonidos (Hayek y cols., 2020; Kristoufek y Vosvrda, 2014). A través de su publicación en 1983 “The fractal geometry of nature” Mandelbrot inspiró a posteriores autores del ámbito sanitario, llegando en la actualidad a utilizar el análisis fractal como un indicador de las variaciones óseas que son independientes de variables como la geometría de proyección o la radiodensidad.

Existe una teoría extendida respecto a la estructura interna trabecular del hueso esponjoso la cual demuestra que viene determinado por la carga funcional que recibe el mismo (Rubin y cols., 1990).

Son muchos los autores que ya sugieren la utilización del análisis fractal sobre el hueso trabecular alveolar, empleándose como una aplicación diagnóstica para analizar objetivamente el mismo, obteniendo buenos resultados y un potencial prometedor en estudios óseos (Franciotti y cols., 2021). El hueso maxilar esponjoso cuenta con una estructura interna trabecular entrelazadas siguiendo unos patrones geométricos desordenados, lo que hace que sea una superficie adecuada sobre la que definir un patrón fractal matemático. Son muchos los métodos desarrollados a lo largo de los años con el fin de describir la calidad del hueso alveolar, además, dada su contrastada precisión, costo moderado y accesibilidad, la DF tiene un amplio potencial de aplicaciones. Su continua investigación busca no sólo demostrar su eficacia clínica, sino predecir y describir el hueso trabecular usando el análisis fractal de una forma cada vez más estandarizada (Fazzalari y Parkinson, 1996; Mu y cols., 2013).

La respuesta ósea de osteointegración y cicatrización posterior a cualquier cirugía de implantes resulta crucial en el pronóstico de esta, por lo que predecir esta evolución nos

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

puede ayudar a evitar posibles complicaciones posteriores. Otros factores cruciales para la correcta integración implantológica son los ya mencionados, como patologías sistémicas asociadas al paciente, su salud general, la biocompatibilidad de los materiales empleados, el tratamiento de superficie del implante, y la calidad y cantidad del hueso alveolar del que partimos inicialmente (Javed y cols., 2013).

Este proceso de formación ósea requiere por lo general un tiempo mínimo de 3 a 6 meses de osteointegración tras la colocación del implante, previo a la colocación de las piezas protésicas. Durante ese tiempo el implante se integra en el entramado óseo como una continuidad de este, sin la presencia como en los dientes naturales de ligamento periodontal (Buckland-Wright y cols., 1994). El BIC o su posterior integración, puede darse de múltiples formas, es por ello, que es de gran interés el estudio de la respuesta ósea alveolar periimplantaria postquirúrgica, siendo los cambios fractales en la integración periimplantaria uno de los propósitos principales de la presente tesis doctoral (Schneider y cols., 2012; Weibel, 1991).

Nuestro primer estudio consistió en el examen radiológico de los cambios óseos periimplantarios y del hueso alveolar en radiografías panorámicas previas y posteriores a la cirugía, comparando el tipo de fresado empleado.

1.8.2 Método de medición de White y Rudolph

La forma más clásica de tratamiento de imágenes para la DF sobre exámenes radiográficos fue descrita por White y Rudolph (S. White y Rudolph, 1999). Comprende una serie de pasos a seguir en el procesado de imagen, como son: duplicación de imágenes, aplicación de filtro Gaussiano, resta de la imagen obtenida por la imagen original, adición de valor de gris de 128 en cada píxel, transformación en una imagen binaria y finalmente la esquelización de la imagen resultante.

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

A través de la aplicación NIH Image, se trabaja sobre las radiografías panorámicas convencionales, a fin de obtener el patrón morfológico del entramado trabecular que aparece en la imagen procesada. Mediante este software se pueden aplicar distintos métodos de análisis que permiten estudiar tanto en la radiografía convencional como los cortes histológicos (W. G. M. Geraets y col., 1990).

En primer lugar, el clínico deberá delimitar sobre la imagen un ROI y a continuación el propio programa suprimirá los desequilibrios del brillo de la imagen, ocasionados por múltiples factores, como el propio tamaño del objeto o la superposición de tejido blando. Para realizar esta tarea, la región de interés se difumina mediante el uso de un filtro gaussiano, con lo que se busca obtener una imagen resultante en la que las variaciones individuales del brillo proporcionen una perspectiva clara del entramado trabecular y de los espacios medulares óseos (Geraets y Van Der Stelt, 2000).

Casi tan importante como el procesado es el análisis de las imágenes binarias y esqueletizadas obtenidas, para describir las características morfológicas de la región estudiada de la radiografía. El entramado trabecular está constituido por los píxeles negros de la imagen que obtenemos binarizada, dividido por el cómputo global de píxeles en ese ROI. La región medular ósea se obtiene de forma similar invirtiendo la escala de blancos y negros, esta vez representando el color negro a este entramado medular y posteriormente esqueletizando la imagen al igual que en la región trabecular (Kato y cols., 2020).

Esta consecución de pasos a seguir tiene una justificación crucial en el estudio, sirviéndonos el filtro Gaussiano para intentar eliminar cualquier estructura superpuesta o artefacto, así como para mayor heterogeneidad en el corte de la imagen. Por otro lado, agregando el valor de 128 a los píxeles conseguimos dejar la imagen con un promedio de

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

128 en valor de gris, disminuyendo al mínimo el número de trabéculas. La binarización transforma el hueso trabecular que hemos obtenido en una imagen en blanco y negro, resaltando así las estructuras de interés que serán analizadas posteriormente. La esqueletización elimina cualquier ruido y transforma la imagen en una estructura de un solo píxel que resaltará los patrones de interés, en la que se llevarán a cabo los análisis fractales (dos Santos Corpas y cols., 2011; González-Martín y cols., 2012).

1.8.1 Dimensión fractal como herramienta cuantificativa en implantología

Dentro de los llamados índices radiomorfogénicos la DF es uno de los métodos empleados para medir cuantitativamente las unidades geométricas complejas que constituyen una imagen limitada. Este método se emplea en radiodiagnóstico a fin de identificar el patrón trabecular óseo ligado a la densidad. Se ha demostrado que mediante la medición de la DF en radiografías periapicales se pueden detectar los cambios periimplantarios de densidad ósea, sin embargo, son más escasos los estudios que emplean este método en pruebas panorámicas o de CBCT (Fernández-Martínez y cols., 2018).

Durante este tipo de cirugías se tienen en cuenta diversos parámetros para conseguir la posterior osteointegración de los implantes. En la preparación del lecho durante el fresado óseo, son múltiples los artículos que destacan el término “atraumático” como uno de los requisitos fundamentales en dicha fase. En la ostectomía siempre se genera calor al contacto con el hueso, sin embargo, existen límites térmicos de 47-50°C a partir de los cuales el hueso periimplantario tenderá a la necrosis (Iyer y cols., 1997). Por otro lado, la velocidad de fresado cuenta con una controvertida evidencia que señala valores desde 50 a 2500 rpm. Existen evidencias que destacan el fresado a bajas revoluciones (50 rpm-100 rpm), por permitir con él un control mayor en la dirección y profundidad del fresado, un

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

incremento menor de la temperatura ósea y facilita la recogida de hueso autólogo durante la intervención para su uso posterior. Mediante esta técnica el hueso obtenido preserva gran parte de su vitalidad celular, pudiendo ser empleado en defectos periimplantarios o gaps (Olvera-Huertas y cols., 2021).

Dado que la densidad ósea está sujeta a variaciones dependientes de procesos como la técnica de fresado aplicada o los materiales de relleno óseo sustitutivos, mediante el presente estudio pretendemos evaluar el trabeculado óseo previo y posterior a implantes para identificar un aumento o disminución en la DMO periimplantaria mediante un parámetro (DF), en grupos sometidos a fresado convencional y sometidos a baja velocidad, así como su evaluación en intervenciones de elevación sinusal en las que se emplea xenoinjerto óseo.

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

2.1 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, existen múltiples alternativas terapéuticas tras la pérdida dental, siendo la rehabilitación de ausencias con implantes osteointegrados y prótesis unitarias o completas, una de las opciones de elección de nuestros pacientes. Este tratamiento junto con el macro y micro diseño de los implantes empleados en el mismo, han sufrido múltiples variaciones a lo largo de los años, a fin de mejorar la estabilidad primaria conseguida. Estos factores anteriormente mencionados, así como la técnica quirúrgica empleada o el tipo de hueso del paciente resultan criterios fundamentales para conseguir la osteointegración. Dentro de todos ellos la densidad ósea resulta el eje fundamental de la presente tesis doctoral y ha demostrado ser uno de los más determinantes en la tasa de éxito de nuestros implantes.

En las regiones de maxilar posterosuperior por lo general, se encuentra una menor densidad ósea, constituido por hueso tipo III o tipo IV y a su vez, asociándose en la literatura esta área a un mayor número de fracasos de implantes dentales. El tipo de fresado que llevaremos a cabo en la región edéntula puede estar determinado por dicho factor prequirúrgico por lo que se prevé mediante las pruebas radiológicas de CBCT previas.

Otro del estándar de oro de la radiología en ciencias de la salud ha sido la absorciometría radiológica de doble energía (DXA) sin embargo, su empleo en el análisis de DMO en maxilares no ha resultado ser práctico en odontología dado que DXA no permite visualizar el corte transversal y su manejo resulta difícil en esta región. Fue descrita en torno a los años 80 y permite cuantificar la DMO, siendo especialmente usada

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

en regiones de columna vertebral y fémur. Dentro de los inconvenientes principales de DXA se encontró su falta de precisión para diferenciar el hueso trabecular y cortical dado que proyecta la estructura ósea tridimensional en sólo dos dimensiones. Sumado a todo esto, los densitómetros empleados para tal fin no son fáciles de colocar en la región maxilofacial pues suelen emplearse en zonas anatómicas de mayor tamaño como la región de columna lumbar o cadera. Se han creado propiamente para su aplicación traumatológica en estructuras óseas que no requieren de tanta precisión como los maxilares, lo que hace que se requiera una adaptación a esta zona de interés. La distribución espacial del densitómetro complica la colocación del cráneo sobre la mesa bajo el detector de rayos, dando lugar a múltiples distorsiones y superposición de estructuras óseas.

Los sistemas CBCT se incorporaron en la práctica odontológica pocos años atrás, siendo anterior el uso de tomografías computarizadas multidetector o TAC. Ambos dan lugar a imágenes similares, sin embargo, la aplicación clínica del CBCT nos permite no sólo estudiar cortes de imagen ortogonales, sino que también permite reconstruir parte del tejido blando mediante distintas escalas de grises. Los sistemas de procesado de imagen en CBCT cuentan con una elevada precisión, no obstante, debemos estudiar las discrepancias que se producen en la recopilación de datos, a fin de conseguir la máxima fiabilidad y predictibilidad de los resultados.

Existe múltiples herramientas ampliamente usadas en determinación de DMO mediante CBCT, obteniendo de forma inmediata su correspondencia en Unidades Hounsfield (UH). Los CBCT dan lugar a una escala de grises que nos permite predecir de forma más precisa el tipo de hueso sobre el que trabajaremos, así como mejorar con ello la predictibilidad en los tratamientos, sin embargo, su grado de confiabilidad y

precisión aún tiene imperfecciones. Con el fin de una mayor precisión en las UH obtenidas, sería fundamental que la energía del haz de rayos X fuese específicamente invariable y limitada. Con tal fin, resulta conveniente estandarizar el haz de rayos X emitido con una energía y espectro eficaces en este proceso, sin embargo, la presencia en el mercado de distintos modelos y fabricantes complica la implementación en todos ellos del mismo kilovoltaje o filtración. Parte de esta distorsión, también procede del proceso de convertir la cuantificación de CBCT empleado en cirugía oral y maxilofacial en UH.

Por las premisas anteriormente mencionadas, surge la necesidad de estudiar otros parámetros radiomorfométricos alternativos a las UH, como la DF, a fin de aumentar la precisión en los resultados densitométricos radiográficos, tanto en ortopantomografía como CBCT. Existe una amplia evidencia científica que demuestra la eficacia y aplicación del análisis fractal (AF) en pruebas de imagen como radiografías panorámicas, periapicales, interproximales, cefalometrías y CBCT, así como en otras pruebas de uso médico como microtomografía, ecografías y sialografía, encontrando como principal ventaja del AF su elevada resolución en imágenes tridimensionales y la posibilidad de obtener una imagen limpia sobre la que trabajar, con factores de distorsión y superposición de estructuras sobre nuestro ROI mínimos.

En implantología oral, la mayor parte de tratamientos producen cambios óseos considerables en la DMO, por ejemplo, tras la colocación de los implantes suele aumentar su valor a causa de la compactación que se lleva a cabo durante el fresado, que busca conseguir una correcta estabilidad periimplantaria. La evidencia clínica sobre la eficacia del AF en CBCT aún es muy escasa, por ello, a través de los estudios llevados a cabo pretendemos mostrar los resultados obtenidos en este tipo de pruebas radiográficas, en

pacientes sometidos a cirugía de implantes comparando la evolución periimplantaria ósea en fresado óseo convencional y biológico.

El proceso de reabsorción ósea que se produce, entre otros, tras la pérdida dental también supone un cambio que repercute en la DMO maxilar, así como en los tratamientos de regeneración ósea guiada (ROG) posteriores. Como la explicamos con anterioridad, el proceso de formación ósea mediante injertos consta de una serie de etapas durante su formación, como son: la osteogénesis, osteoinducción y osteoconducción. La osteogénesis es la fase inicial que desencadena la formación de hueso nuevo a través de osteoblastos sustentados en el material de injerto óseo. La osteoinducción resulta de la capacidad que tendrá el material de relleno de inducir la llegada de osteoblastos en el lecho receptor y, por último, la osteoconducción proporciona el andamio suficiente al material para permitir su crecimiento e integración, la cual se produce cuando se consigue la unión química del material de relleno y el hueso circundante.

El tratamiento quirúrgico en el que se realiza ROG con mayor frecuencia es en la elevación sinusal maxilar, motivo por el que también evaluaremos la eficacia de AF en dichos casos clínicos. Con tal fin existen múltiples técnicas y materiales de relleno óseo que determinarán la supervivencia y DMO obtenida del tratamiento, como son el hueso autógeno, aloinjerto, xenoinjerto y materiales aloplásticos. El hueso autólogo obtenido del paciente origina hueso nuevo mediante los procesos nombrados de osteogénesis, osteoinducción y osteoconducción, sin embargo, las regiones donantes suelen ser limitadas y en caso de obtenerse de regiones extraorales su morbilidad aumenta. Dada las limitaciones de la opción anterior, los xenoinjertos pese a ser únicamente osteoconductores se convierten en el material de elección, actuando de andamio para el hueso y obteniendo un buen pronóstico en las elevaciones sinusales.

2.2 OBJETIVOS

El objetivo general fue estudiar retrospectivamente la aplicación de dimensión fractal en el ámbito de la odontología y concretamente de la cirugía oral, para cuantificar de forma precisa la densidad mineral ósea resultante de la remodelación ósea en dos modalidades de fresado óseo (convencional y biológico), así como tras la regeneración llevada a cabo en elevaciones sinusales traumáticas.

El objetivo general puede desglosarse a su vez en varios objetivos específicos, que nos ayudarán a describir y sustentar las diferentes cuestiones que surgen del planteamiento de ambos estudios.

- **Objetivos específicos**

1. Comparar la remodelación ósea periimplantaria pre y postquirúrgica, en ambos protocolos de fresado a bajas revoluciones sin irrigación y convencional con irrigación (50 rpm-800 rpm).
2. Estudiar la eficacia clínica de aplicación de dimensión fractal en imágenes radiográficas panorámicas y CBCT en pacientes con ausencias dentales sometidos a cirugía de implantes.
3. Comprobar los cambios en la DMO de la región ósea periimplantaria tras la carga protésica, mediante el análisis fractal.
4. Evaluar el patrón de formación ósea que ocurre en el hueso nuevo formado en elevaciones sinusales con colocación de implantes inmediatos.
5. Comparar la calidad ósea inicial del hueso propio del paciente, con la estructura del xenoinjerto empleado en la elevación, a través de la dimensión fractal.

III. INVESTIGACIONES

3. INVESTIGACIONES

3.1 Estudio 1 (Soler-Alcaraz y cols., 2023) (Anexo 1)

3.1.1 Material y Métodos

3.1.1.1 Diseño del Estudio

El primer estudio se llevó a cabo tras la correspondiente aprobación del Comité de Bioética de la Universidad de Murcia (ID: 3203/2021) (Anexo 2), emprendiéndose desde octubre de 2020 hasta enero de 2022, con una planificación longitudinal, retrospectiva y doble ciego. Dicho estudio fue sometido y posteriormente publicado por *Journal of Clinical Medicine* (Anexo 1) el 14 de marzo de 2023. La muestra fue obtenida de pacientes pertenecientes al Máster de Cirugía Bucal e Implantología del Hospital Morales Meseguer, con la debida información y consentimiento por escrito de estos de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

3.1.1.2 Tipo de Muestra, Criterios de Inclusión y Exclusión

Partimos de una muestra inicial de 70 pacientes con 210 implantes, de los cuales tras aplicarle los correspondientes criterios de exclusión se incluyeron 50 pacientes ($n = 50$), con 129 implantes analizados en las imágenes correspondientes (CBCT y ortopantomografías). Los pacientes pertenecían a dos grupos diferentes según el tipo de fresado realizado en la colocación de los implantes, cuya distribución se refleja en la Figura 6. Los clínicos examinadores no eran conocedores del grupo al que pertenecían los pacientes, clasificándose por tanto en un estudio doble ciego. Los tipos de fresado que se aplicaron en el acto quirúrgico cumplieron las siguientes premisas:

- a) Fresado a baja velocidad sin irrigación: 50 rpm.

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

b) Fresado convencional con irrigación: 800 rpm.

Todos los pacientes cumplieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- a) Pacientes mayores de edad y no embarazadas.
- b) Pacientes que no presenten patologías que afecten al hueso.
- c) Imágenes de calidad insuficiente.
- d) No tener imágenes pre y post implantes.

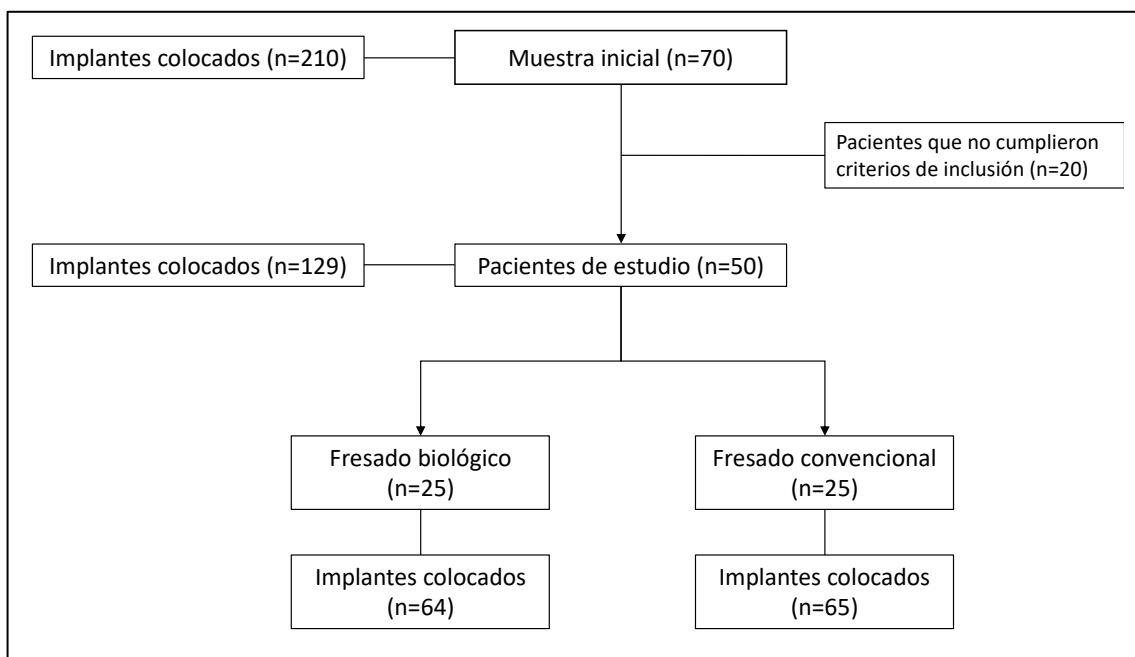


Figura 6. Mapa de flujo sobre la obtención de muestra de estudio tras la aplicación de los criterios de exclusión.

3.1.1.3 Obtención de Imágenes y Procesamiento

Todas las radiografías panorámicas se realizaron con el mismo sistema de radiografía panorámica digital (Vatech, Madrid, España). Las imágenes CBCT obtenidas fueron realizadas por el mismo Planmeca®equipo, Planmeca ProMax 3-D Max (Planmeca Oy, Helsinki, Finlandia), debidamente calibrado.

Las radiografías se tomaron con los pacientes en decúbito prono, ajustando la posición de la cabeza mediante el sistema de guía láser del dispositivo. Los parámetros de emisión

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

del haz de rayos fueron $kV = 96$, $Ma = 8$, tiempo de exposición de 12 s (11,94 s) y un tamaño de imagen de $501 \times 501 \times 466$ vóxeles (cada vóxel equivale a $200\mu m$).

El software de evaluación utilizado fue el programa Romexis 2.5.1.R (Planmeca Oy, Helsinki, Finlandia), el cual permitió visualizar la imagen en una ventana múltiple donde se pueden visualizar los planos axial, coronal y sagital a intervalos de 0,2 mm además de una visión 3D.

Tras el periodo mínimo de osteointegración de 3 meses, se realizaron las radiografías de seguimiento, en las cuales se delimitó la ROI periimplantaria, diferenciado tanto en maxilar como en mandíbula sobre proyecciones ortopantomográficas con diferentes tamaños detalladas en la Figura 7. Trabajamos sobre imágenes obtenidas en dos fases:

- a. Fase diagnóstica o prequirúrgica, con CBCT obtenido antes de la intervención de implantes.
- b. Fase postquirúrgica, con CBCT obtenido tras la colocación del implante.

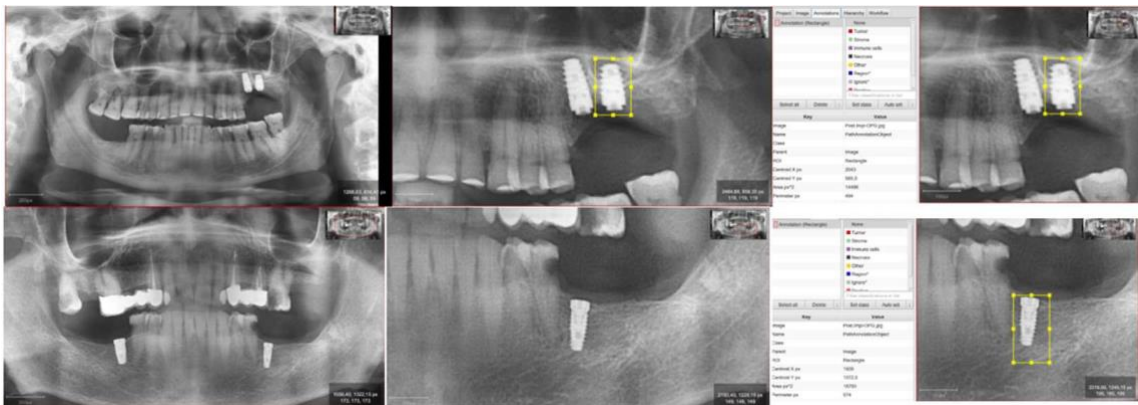


Figura 7. Delimitación de ROI sobre imagen de maxilar y mandíbula, con descripción del tamaño (Soler-Alcaraz y cols., 2023)

Los implantes pertenecían a diferentes casas comerciales: BTI® (Instituto de Biotecnología SL, Vitoria, España), Galimplant® (Nueva Galimplant, SLU, Lugo, España) y Biomet 3i® (Biomet 3i Dental Ibmirica SL, Barcelona, España).

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la osteotomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Para el procesamiento y análisis de las imágenes trabajamos con dos softwares diferentes: Qupath (Quantitative Pathology y Bioimage Analysis. Center for Cancer Research and Cell Biology at Queen's University Belfast) e ImageJ (National Institutes of Health).

El tratamiento de la imagen hasta conseguir el entramado esquelizado del trabeculado óseo, se llevó a cabo según el método de White y Rudolph para imágenes radiológicas (White y Rudolph, 1999). Como se puede apreciar en la Figura 8, partiendo de la imagen original, creamos un filtro que nos permite extraer la zona correspondiente al implante para que no interfiera en el cálculo de la DF. Una vez recortada, trabajamos con imágenes de 8 bits, sobre las que realizamos en primer lugar umbralización, seguido de erosión y doble dilatación, habiéndola transformado previamente a binaria, para calcular el valor de DF (Figura 9).

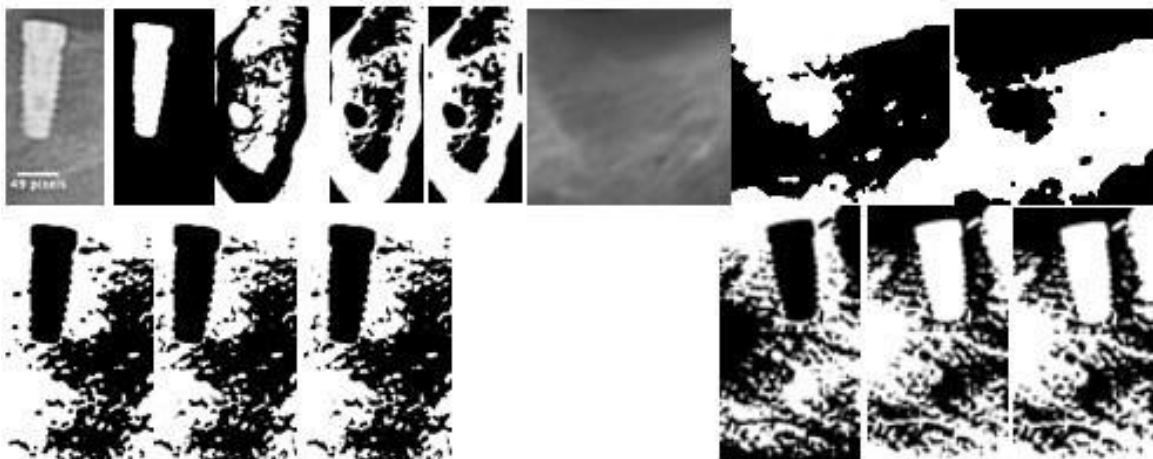


Figura 8. Secuencia de procesamiento de imágenes para aplicar el método de White y Rudolph(Soler-Alcaraz y cols., 2023)

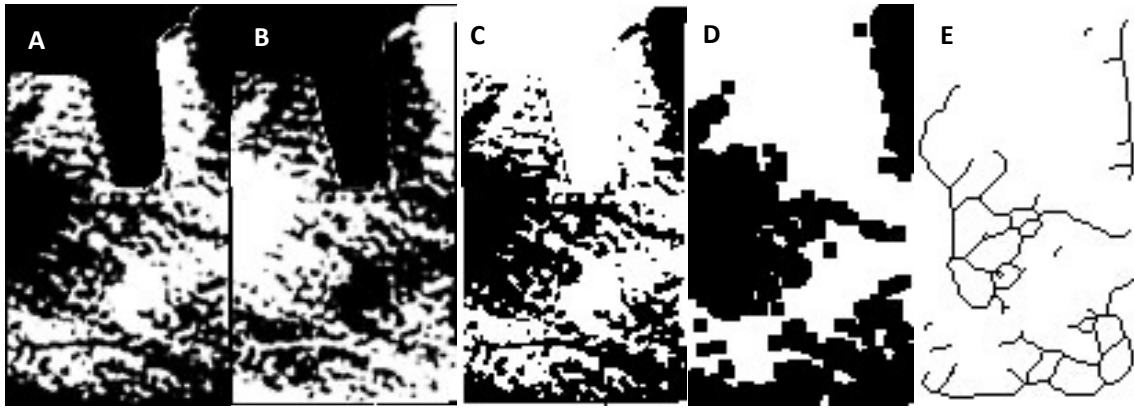


Figura 9. Secuencia de procesamiento, comenzando por imagen en 8 bits (A), umbralizada (B), binarización (C), erosión y distorsión (D) y por último obtenemos la imagen esquelizada (E).

3.1.1.4 Análisis de la DF

Como bien nombramos de forma introductoria, la dimensión fractal consiste en una constante matemática que permite encontrar patrones de autosemejanza en las estructuras. Este valor se calcula principalmente utilizando el extendido método de conteo de cajas, el cual tiene como principal inconveniente que los resultados generados en muchos casos no son lo suficientemente informativos debido a la falta de precisión del valor original que se encuentra suscrito al error propio del procesado humano. Dadas las limitaciones del método clásico, en el presente estudio calcularemos la dimensión fractal aplicando un algoritmo novedoso establecido por Guerrero y cols. (Fernández-Martínez y cols., 2019), el cual ha demostrado su eficacia. La idea es utilizar imágenes de alta resolución donde se trate la nueva herramienta, que no calcula cajas como el clásico conteo de cajas, sino que utiliza las preimágenes de la intersección de una curva de recuperación en la imagen.

3.1.1.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS®Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Se realizó un estudio descriptivo de cada variable. Se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de homogeneidad de varianza

de Levene, y los datos mostraron una distribución normal, y se analizaron mediante pruebas paramétricas. Las asociaciones entre las diferentes variables cualitativas se estudiaron mediante la prueba de chi cuadrado de Pearson. Las asociaciones entre diferentes variables cuantitativas se estudiaron utilizando la prueba t de Student para dos muestras relacionadas. Se aceptó la significancia estadística para $p \leq 0.05$.

3.1.2 Resultados

De acuerdo con las características demográficas estudiadas, la muestra resultó ser homogénea, tanto en edad, sexo como en el hábito tabáquico (Tabla 1). La muestra estuvo constituida por 50 pacientes con una edad media de $54,64 \pm 12,52$ (30-72 años) y una distribución por género de 26 hombres (52%) y 24 mujeres (48%). Al mismo tiempo, no se encontraron diferencias significativas al realizar la comparación de DF en ambos grupos de fresado (Tabla 3).

Tabla 1 Homogeneidad de los grupos de estudio en cuanto a las características demográficas y hábitos (prueba t de Student y Pearson χ^2).

Características	Pacientes con Fresado Convencional	Pacientes con Fresado a bajas Revoluciones	P-Valor
Edad Media+DE*	56.52±11.95	52.76±13.03	0.293
Sexo: n (%)			1.000
Masculino	13 (52)	13 (52)	
Femenino	12 (48)	12 (48)	
Tabaquismo: n (%)			0.269
No fumador	19 (76)	22 (88)	
Fumador	6 (24)	3 (12)	
	DE* desviación estándar		

En cuanto a las características directamente relacionadas con los implantes, se describen en la Tabla 2, tomamos en consideración: tipo de implante, zona de colocación (maxilar o mandibular), sección anatómica (anterior o posterior), longitud y posición dentaria del implante.

Tabla 2. Distribución de implantes

<i>Características</i>	<i>Total (n=129) n (%)</i>	<i>Implantes con F. Convencional</i>	<i>Implantes con F. a Bajas Revoluciones</i>
Tipo de Implante Dental			
BTI	60 (46.52)	37 (56.9)	23 (35.93)
Galiimplant	33 (25.57)	0 (0)	33 (51.56)
Biomet 3i	36 (27.91)	28 (43.08)	8 (12.51)
Maxilar/mandíbula			
Maxilar superior	60 (46.52)	27 (41.54)	33 (51.56)
Mandíbula	69 (53.48)	38 (58.46)	
Longitud			
8 mm	3 (2.32)	0 (0)	3 (4.68)
8,5 mm	10 (7.75)	7 (10.76)	3 (4.68)
10 mm	73 (56.58)	37 (56.92)	36 (56.25)
11,5 mm	27 (20.93)	15 (23.07)	12 (18.75)
12 mm	12 (9.31)	2 (3.10)	10 (15.64)
13 mm	4 (3.11)	4 (6.15)	0 (0)
Diámetro			
1.14	(3.11)	1 (1.53)	3 (4.68)
1.22	(1.55)	1 (1.53)	1 (1.56)
1.35	(3.87)	3 (4.54)	2 (3.12)
1.46	(4.65)	2 (3.10)	4 (6.25)
1.55	(3.87)	1 (1.53)	4 (6.25)
1.68	(6.21)	5 (8.07)	3 (4.68)
2.13	(2.32)	0 (0)	3 (4.68)
2.24	(3.11)	2 (3.10)	2 (3.12)
2.36	(4.65)	3 (4.54)	3 (4.68)
2.46	(4.65)	4 (6.15)	2 (3.12)
2.57	(5.46)	3 (4.54)	4 (6.25)
2.65	(3.87)	2 (3.10)	3 (4.68)
2.72	(1.55)	1 (1.53)	1 (1.56)
3.11	(0.77)	0 (0)	1 (1.56)
3.23	(2.32)	2 (3.10)	1 (1.56)
3.32	(1.55)	1 (1.53)	1 (1.56)
3.42	(1.55)	1 (1.53)	1 (1.56)
3.55	(3.87)	1 (1.53)	4 (6.25)
3.616	(12.41)	9 (13.84)	7 (10.93)
3.74	(3.11)	4 (6.15)	0 (0)
4.12	(1.55)	1 (1.53)	1 (1.56)
4.21	(0.77)	0 (0)	1 (1.56)
4.32	(1.55)	1 (1.53)	1 (1.56)
4.41	(0.77)	0 (0)	1 (1.56)
4.55	(3.87)	3 (4.54)	2 (3.12)
4.617	(13.17)	11 (16.92)	6 (9.47)
4.75	(3.87)	3 (4.54)	2 (3.12)

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

En cuanto al estudio de la DF, encontramos diferencias significativas en los valores entre las imágenes preimplante y postimplante en ambos grupos, (ver Tabla 3). No existen diferencias significativas entre los valores de DF de los dos grupos de estudio como se muestra en la Figura 10.

Tabla 3. DF prequirúrgica y posquirúrgica en grupos de estudio T-test.

<i>Dimensión Fractal</i>			
<i>Grupos</i>	<i>Prequirúrgico</i>	<i>Posquirúrgico</i>	<i>P-Valor</i>
	<i>Media±DE</i>	<i>Media±DE</i>	
<i>Implantes con fresado convencional</i>	1.68±0.06	1.71±0.05	<0.001
<i>Implantes con fresado a baja velocidad</i>	1.67±0.08	1.69±0.07	<0.001

*DE= desviación estándar

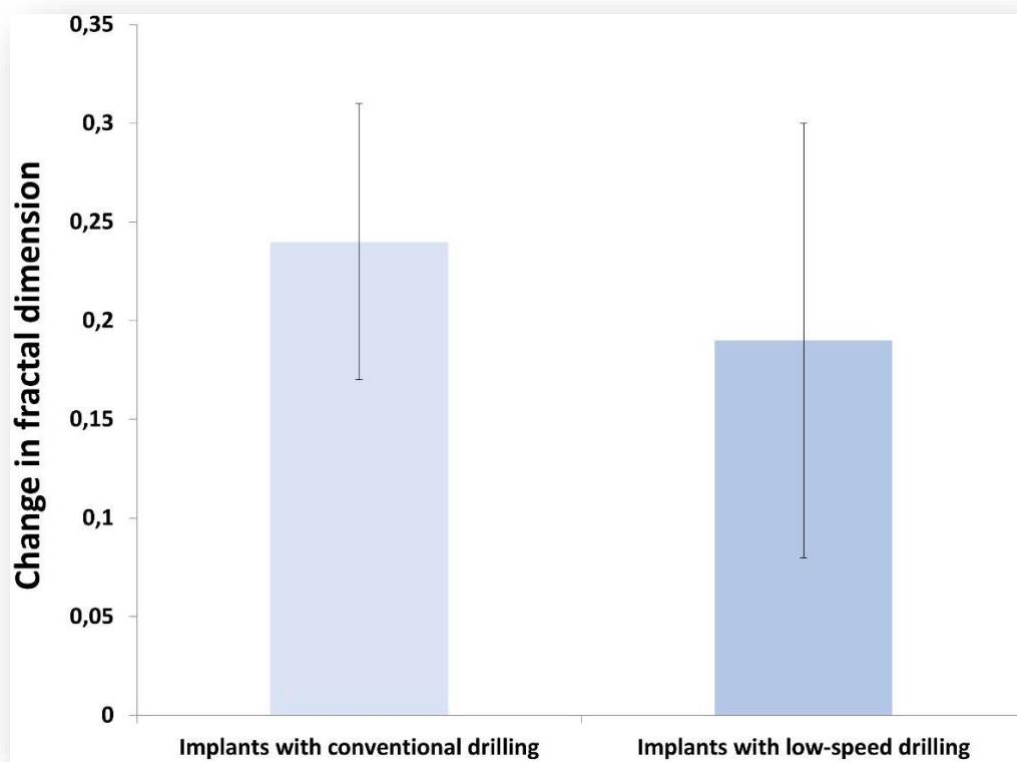


Figura 10. Comparación del cambio de la DF (pre y posquirúrgico) entre grupos de estudio ($p^* \leq 0,050$)

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

3.1.3 Discusión

En nuestra área de trabajo, los CBCT resultan el método más común para determinar la calidad ósea que nos encontraremos durante el acto quirúrgico (Rosenthal y cols., 1985). Otros autores emplean como técnica eficaz y directa la biopsia ósea mediante análisis histológico (Trisi y Rao, 1999), sin embargo, son métodos difíciles de llevar a cabo en el entorno que nos compete. Mediante estas pruebas diagnósticas podemos evaluar la interfase hueso-implante y los cambios producidos durante el proceso de osteointegración que se ha estudiado en múltiples artículos (Karthik y cols., 2013; Kulczyk y cols., 2018).

Con el fin de estudiar estos cambios óseos se ha aplicado el análisis fractal, demostrando ser directamente proporcional a la DMO (Al-Aroomi y cols., 2023; Antonacci y cols., 2023). Diversos autores han constatado que la DF aumenta a medida que se produce la recuperación ósea tras cualquier acto quirúrgico (Heo y cols., 2002; Nair y cols., 2001), así como durante el desarrollo mandibular de neonatos ha mostrado la creciente complejidad del entramado trabecular (Wojtowicz y cols., 2001).

Sin embargo, otros autores han utilizado el estudio de la DF para evaluar el estado del trabeculado óseo debido a su estructura y distribución (Griggs, 2018; Karadag y Yilmaz, 2022). En el primer artículo avanzábamos la hipótesis nula de que no había diferencias entre los dos grupos sometidos a fresado convencional y de baja velocidad durante la fase quirúrgica, concluyendo que nuestra investigación apoyaba esta hipótesis.

De manera similar a cómo se definen matemáticamente los fractales, la arquitectura trabecular ósea es una estructura compleja que satisface una serie de requisitos, incluida la autosimilitud. Podríamos afirmar con certeza que cuando examinamos los huesos maxilares y mandibulares desde la orientación que elijamos (ya

sea lingual, distal, mesial o vestibular), siempre encontramos tabiques y espacios a modo de red (Abrahamsson y cols., 2004).

En base a este criterio, nuestro estudio propone el análisis del hueso del paciente de forma individual, estableciendo un valor inicial antes de la colocación del implante y comparando los diferentes valores obtenidos en los exámenes radiológicos establecidos por el protocolo nos permitirá obtener una medida óptima, tras la evaluación de alteraciones estructurales mínimas a nivel trabecular. Estas alteraciones provocadas por las fases de reabsorción y aposición del hueso circundante se dan lugar alrededor del implante y conducen a su propia osteointegración (Bosshardt y cols., 2011; Botticelli y Lang, 2017).

El éxito del implante en su proceso de osteointegración y su adecuada evolución, según otros autores, depende de una serie de factores, como la correcta preparación de la zona y el fresado, sin que el resultado quirúrgico se vea afectado significativamente por el tipo de fresado realizado (Kotsakis y Romanos, 2022).

Por otro lado, una serie de estudios se concentran en los métodos utilizados para la colocación de implantes y señalan que influyen en los resultados al evaluar la tasa de éxito y los procesos de osteointegración posteriores (Bernabeu-Mira y cols., 2020; Frizzera y cols., 2022; Nagy y cols., 2021). Diferentes factores pueden influir, como: la temperatura durante la ostectomía o las revoluciones empleadas durante el fresado.

En investigaciones independientes, se han demostrado que la temperatura durante el fresado biológico no presentaba riesgo añadido, siempre que la temperatura fuera inferior al umbral crítico de exposición de 47° C por minuto (Anitua y cols., 2007; Fraguas de San José y cols., 2020; Oh y cols., 2016; Salomó-Coll y cols., 2021). Clínicamente, la técnica de baja velocidad ha dado lugar a una alta tasa de éxito del implante similar a la obtenida

con el fresado estándar. Histopatológicamente, varios estudios experimentales mostraron el mismo proceso de osteointegración para ambas técnicas sin diferencias estadísticamente significativas. Además, dieron lugar a resultados equiparables a otras pruebas analíticas como el estudio dimensional fractal (Abdelsattar y cols., 2021; Favero y cols., 2018; Pellicer-Chover y cols., 2017).

Todas estas circunstancias conducen a distinguir entre el fresado convencional y el fresado biológico, con el objetivo de determinar qué método de fresado puede ser el más exitoso para conseguir la osteointegración en nuestra cirugía de implantes.

No existen diferencias apreciables en términos de osteointegración y tasa de éxito entre los dos tipos de perforación quirúrgica, según las revisiones sistemáticas que se hicieron en ambos tipos de preparaciones llegaron a la misma conclusión que nosotros (Bernabeu-Mira y cols., 2020). Independientemente de la técnica utilizada para evaluar los tipos de fresado, casi todas ellas buscan los resultados tanto anatomopatológicos como radiológicos.

Mishra y cols. (2022), a través de su revisión sistemática descubrieron que la DF puede ser una cifra que, al igual que las técnicas de diagnóstico tradicionales, ayuda a determinar la estabilidad del implante. Examinaron con ello los resultados de varios estudios en los que aplicaron esta técnica para el análisis óseo y los contrastaron con los resultados de estudios que utilizaron técnicas más tradicionales. Dado que la DF es una técnica mínimamente invasiva, pensamos que puede ofrecer mucha información durante la fase de osteointegración dadas las limitaciones inherentes al análisis radiográfico.

En los últimos tiempos, este valor está cobrando mucha importancia en el campo de la odontología, aplicándose en diversos procesos y no solo en implantología (Aragonez y cols., 2022; Machry y cols., 2021). Incluso en otros campos como la dermatología (Lin y

cols., 2023) lo cual, avala su efectividad sobre en el análisis del trabeculado en procesos quirúrgicos, dado que la mayoría de los hallazgos de los estudios avalan que la DF se trata de un cálculo que ofrece beneficios y parece brindar resultados confiables a la hora de cuantificar la DMO.

Kulczyk y cols. (2018) estudiaron la estabilidad del implante a través de la DF, concluyendo que no se puede asegurar que esta medida por sí sola sea un valor suficiente para determinar la estabilidad del implante. Asimismo, diversos autores establecen que no existe un consenso sobre la relación entre la DF y la complejidad del hueso, pero sí admiten que se producen ciertos cambios en la DMO (Ruttimann y cols., 1992; Zeytinoğlu y cols., 2015).

La mayoría de estos artículos en los que no se encuentra correlación son bastante antiguos, por lo que la técnica radiográfica podría tener alguna influencia, ya que la calidad de las imágenes obtenidas en la actualidad es muy superior, sobre todo si hablamos de CBCT.

Al igual que en nuestro estudio, otros autores han descubierto que los valores de la DF fluctúan tras la intervención y finalmente vuelven a los valores iniciales que tenía el paciente antes de la intervención (Heo y cols., 2002).

Dado que el maxilar y la mandíbula no son iguales desde el punto de vista morfológico, los valores de DF deben examinarse por separado teniendo en cuenta variables como el tipo de hueso. Varios autores afirman que este hecho puede afectar al valor de la DF debido a la compleja estructura trabecular del hueso maxilar, aunque podemos establecer un rango de valores donde se define el hueso no patológico (Zhang y Abdeldayem, 2022) como se plantea en esta investigación.

3.2 Estudio 2

3.2.1 Material y Métodos

3.2.1.1 Diseño del Estudio

El estudio se realizó siguiendo los principios de la Declaración de Helsinki (última revisión en Seúl, Corea, 2008) y con la aprobación del comité de bioética de la Universidad de Murcia (ID: 3203/2021) en Anexo 2. Los pacientes fueron obtenidos de una única clínica dental, siendo los procedimientos de elevación sinusal llevados a cabo por el mismo odontólogo especializado en cirugía e implantología oral

3.2.1.2 Tipo de Muestra, Criterios de Inclusión y Exclusión

La muestra estuvo formada por un total de 35 pacientes, de los cuales 12 fueron mujeres y 23 hombres. Se realizó elevación de seno maxilar bilateral en 16 pacientes (total de 32 elevaciones) y unilateral en 19, con 40 casos en seno maxilar derecho y 11 en seno maxilar izquierdo. Los criterios de inclusión fueron:

- a) Pacientes edéntulos en la zona del seno maxilar con atrofia a partir de 2-5 mm.
- b) Pacientes sin enfermedades que afecten el metabolismo óseo y condiciones sistémicas que afecten la cicatrización, como la diabetes.
- c) Pacientes no fumadores sin patología sinusal.
- d) Pacientes sin focos infecciosos en la zona a tratar.
- e) Imágenes radiológicas de alta calidad, proyecciones ortopantomográficas.

Todos los pacientes fueron informados del tipo de tratamiento al que se someterían y de las posibles complicaciones que podrían derivarse del mismo, así como de la posibilidad de retirarse del estudio en cualquier momento.

3.2.1.3 Procedimiento Quirúrgico

Los procedimientos quirúrgicos fueron realizados siempre por el mismo cirujano y siguiendo el mismo protocolo, según el procedimiento descrito por Tatum:

- a) Ventana lateral con abordaje externo sin romper la membrana de Schneider, creando un espacio en el suelo de la cavidad sinusal.
- b) Relleno del espacio generado con biomaterial, Endobone® (Zimmer Biomet, Palm Beach Garden, Florida, EE. UU.).
- c) Colocación de membrana, Membrana de colágeno 30 x 40 mm: BioMend® (Zimmer Biomet, Palm Beach Garden, Florida, USA).
- d) Colocación de implantes, Biomet 3i (Zimmer Biomet, Palm Beach Garden, Florida, USA).

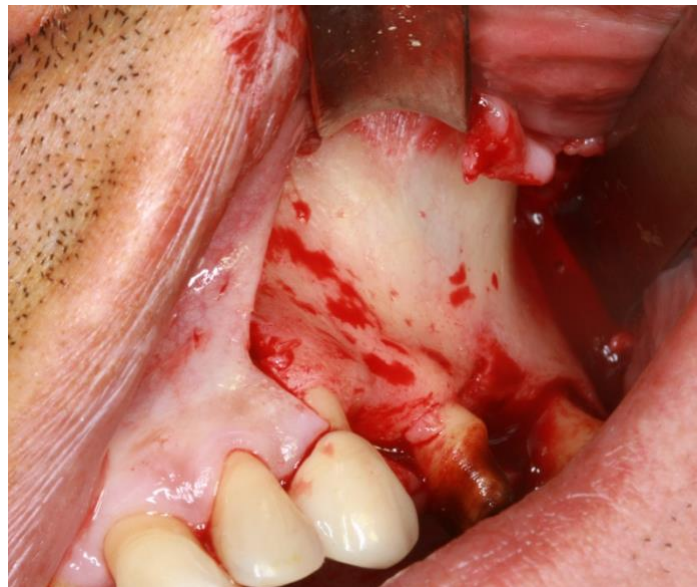


Figura 11. Pared ósea de seno maxilar tras elevación de colgajo a espesor total. Tomada por el Dr. Osmundo Gilbel

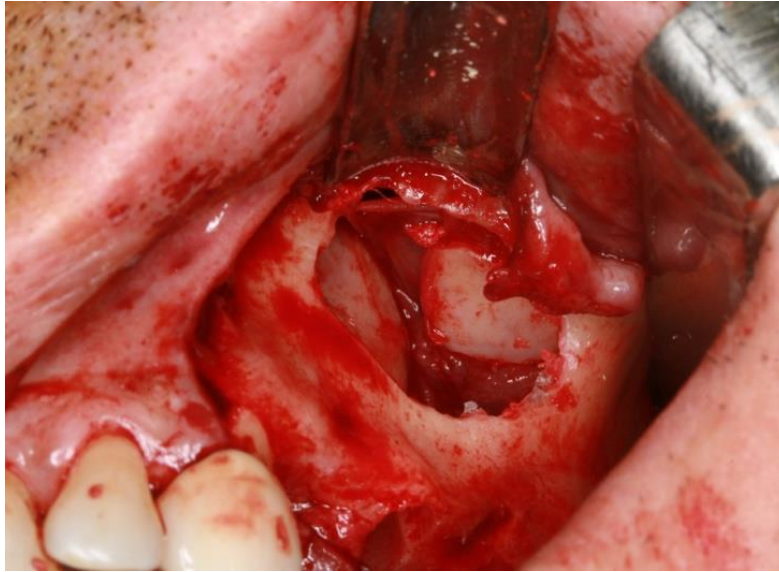


Figura 11. Ventana lateral con membrana de Schneider intacta. Tomada del Dr. Osmundo Gilbel



Figura 12. Relleno óseo tipo Endobon tras elevación sinusal. Tomada del Dr. Osmundo Gilbel.

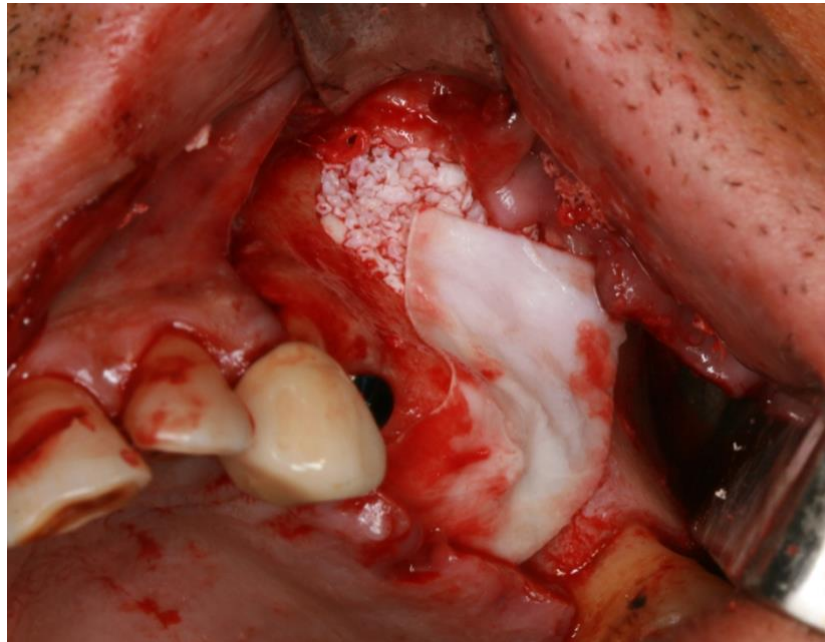


Figura 12. protección de injerto óseo mediante membrana reabsorbible. Tomada del Dr. Osmundo Gilbel.

3.2.1.4 Obtención de Imágenes y Procesamiento

Todas las radiografías panorámicas se tomaron con el mismo sistema de radiografía panorámica digital (Vatech, Madrid, España). Las imágenes radiológicas obtenidas fueron ortopantomografías, siguiendo siempre el mismo procedimiento:

- a) Radiología diagnóstica al inicio, antes de la fase quirúrgica.
- b) Radiología quirúrgica con el procedimiento quirúrgico realizado y el implante colocado.
- c) Radiología posquirúrgica, con el implante cargado a los 6 meses. Esta imagen se obtiene un año y medio después del procedimiento quirúrgico.

3.2.1.5 Análisis de Dimensión Fractal e Imagen

Todas las radiografías panorámicas se realizaron con el mismo sistema de radiografía panorámica digital (Vatech, Madrid, España). Para el procesamiento y análisis de las imágenes se trabajó con ImageJ (National Institutes of Health). Establecimos un estudio ROI en seno maxilar, en el que se procedió a calcular (Figura 13):

- Ángulo: resultando en grados del eje del implante con los puntos anteroinferior y posteroinferior de las tablas anterior y posterior del seno.
- Área Ocupada: el área generada por la introducción del material de injerto en mm².
- Área Total: el área total ocupada por el seno en mm².
- Área de Exceso: trazando una línea desde el punto posteroinferior de la tabla posterior hasta el punto de la espina nasal anterior (ENA) en mm², delimitamos el área ocupada en su nivel superior en relación con el ápice del implante y se midió el exceso de material de injerto

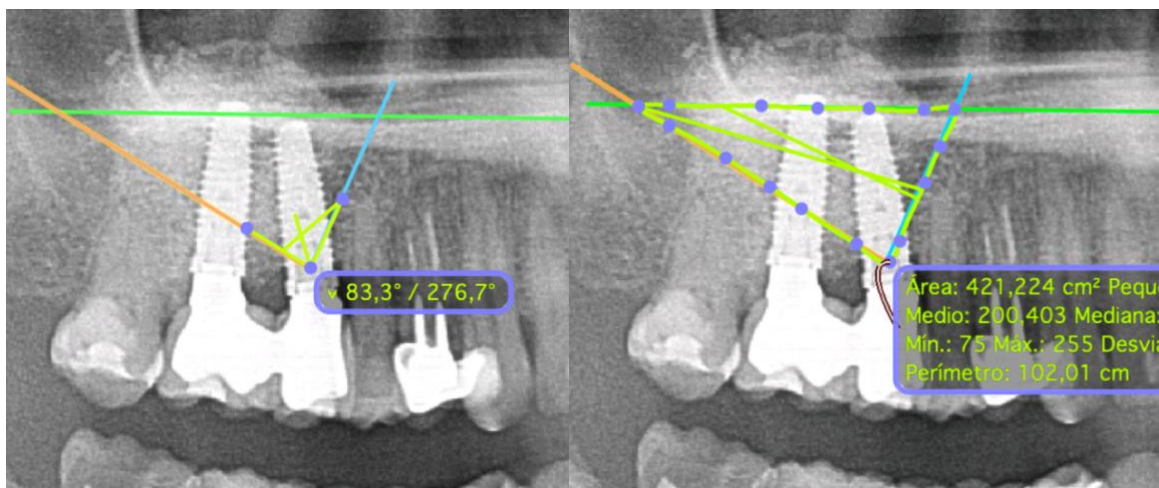


Figura 13. Selección del ángulo y área de estudio mediante el programa Qupath en una de las imágenes de estudio.

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la osteotomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

El procesamiento radiológico se realizó según el método de White y Rudolph para imágenes radiográficas (S. White y Rudolph, 1999). Realizamos una segmentación de la zona de estudio, donde se encuentra el material de relleno óseo (Figura 14). Eliminamos todos los artefactos que pudieran afectar el cálculo de la DF o la dimensión de conteo de cajas.

Obtuvimos dos valores de DF:

- a) Dimensión Fractal A: obtenida en la radiografía de colocación del implante.
- b) Dimensión Fractal B: obtenida en la radiografía con carga protésica.

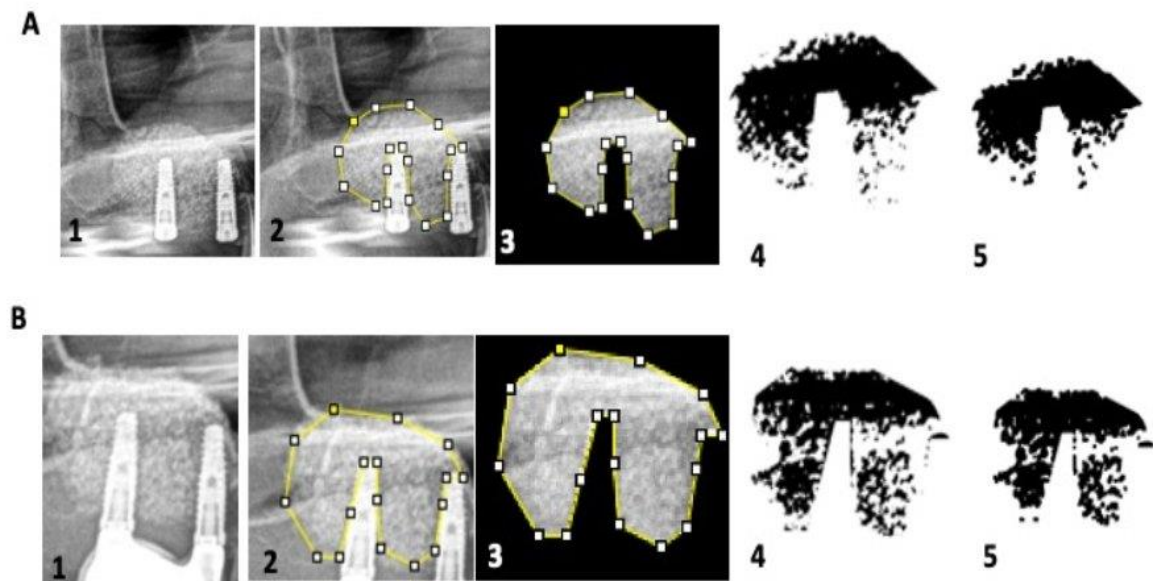


Figura 14. Selección de ROI correspondiente a región de injerto óseo y procesado mediante método de White y Rudolph en imágenes pre y post-carga protésica.

3.2.1.6 Análisis Estadístico

Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS® Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Se realizó un estudio descriptivo de cada variable. Se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y la prueba de homogeneidad de varianza de Levene, y los datos mostraron una distribución normal, y se analizaron mediante pruebas paramétricas. Las asociaciones entre las diferentes variables cualitativas se estudiaron mediante la prueba de chi cuadrado de Pearson. Las asociaciones entre diferentes variables cuantitativas se estudiaron mediante la prueba de la t de Student para dos muestras relacionadas. Se aceptó la significancia estadística para $p \leq 0.050$.

3.2.2 Resultados

La muestra total estuvo constituida por 35 pacientes con una edad media de 52,94 años, de los cuales 23 eran hombres y 12 mujeres. Las variables estudiadas fueron: consumo de tabaco, alcohol consumo, frecuencia de cepillado y patologías relacionadas con los huesos. El análisis de datos se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de la población de estudio

Características	Pacientes con elevación sinusal (n=35)
Edad Media+DE*	52,94 ± 10,13
Sexo: n (%)	
<i>Hombre</i>	23 (65,71)
<i>Mujer</i>	12 (34,29)
Tabaquismo: n (%)	
<i>No fumador</i>	22 (62,85)
≤10	9 (25,71)
11-20	4 (11,44)
>20	0 (0)
Consumo de alcohol: n (%)	
<i>Ninguno</i>	17 (48,58)
<i>A diario</i>	0 (0)
<i>Bebedor en fin de semana</i>	18 (51,42)
Cepillado dental	
<i>1 día</i>	2 (5,73)
<i>2 días</i>	15 (42,85)
≥3 día	18 (51,42)
Enfermedades: n (%)	
<i>Artrosis</i>	1 (2,85)
<i>Trombosis Venosa</i>	1 (2,85)
<i>Osteoporosis</i>	1 (2,85)
<i>Anemia</i>	1 (2,85)
<i>Hipertensión Arterial</i>	2 (5,71)
<i>Diabetes Mellitus II</i>	1 (2,85)
<i>Hipercolesterolemia</i>	1 (2,85)
*DE: desviación estándar	

En cuanto al número de implantes colocados, fueron 72 con las características descritas en la Tabla 5. Las elevaciones de seno realizadas fueron 51, de las cuales 19 fueron unilaterales y 16 bilaterales (total de 32 elevaciones). El área promedio de los senos analizados fue de 1401,96 mm², con una media de área ocupada por el material de relleno de 297,75 mm² (Tabla 6).

Tabla 5. Distribución de implantes

Características	Total (n=72) N (%)
Longitud	
8,5 mm	34 (47,22)
10 mm	25 (34,72)
11,5 mm	13 (18,06)
Diámetro	
3,25 mm	31 (43,05)
4,00 mm	34 (47,22)
5,00 mm	7 (9,73)
Sitio	
1.4	2 (2,68)
1.5	7 (9,73)
1.6	20 (27,77)
1.7	7 (9,73)
2.4	4 (5,55)
2.5	9 (12,50)
2.6	17 (23,71)
2.7	6 (8,33)

Tabla 6. Características de la elevación de seno maxilar.

Características	Seno Maxilar (n=51)
Unilateral/Bilateral: n (%)	
Unilateral	34 (47,22)
Bilateral	25 (34,72)
Derecho/Izquierdo: n (%)	
Derecho	40 (78,43)
Izquierdo	11 (21,57)
Dentición opuesta	
Ninguno	2 (3,93)
Diente natural	29 (56,86)
Coronas metal-porcelana	20 (39,21)
Área total del seno antes de la cirugía: Media \pm DE	1401,96 \pm 449,74
Área sinusal ocupada por biomaterial el día 0 (mm²): Media \pm DE	297,75 \pm 137,74
Ángulo de los implantes en el seno maxilar (grados): Media \pm DE	84,14 \pm 8,86
*DE: desviación estándar	

Al comparar los valores de DF obtenidos el primer día y un año después de la carga protésica, se observan diferencias significativas. Del mismo modo, cuando comparamos los valores del área ocupada por el biomaterial el mismo día de la cirugía y al año de la carga protésica también se obtienen diferencias significativas.

Tabla 7. Cambios en el área del biomaterial sobre el ápice del implante y DF entre el día 0 y 1 año después de la carga protésica

Características	Día 0 Media±DE*	1 año después de la carga protésica Media±DE	P-Valor
<i>Área de biomaterial por encima del ápice del implante</i>	111,04±62,51	98,33±56,01	<0,001
<i>Dimensión fractal</i>	1,78±0,04	1,71±0,04	<0,001

DE: desviación estándar

3.2.3 Discusión

Uno de los valores comúnmente utilizados de referencia para evaluar el éxito de un procedimiento quirúrgico es el valor de la DMO, la cual puede ser obtenida a partir de diferentes fórmulas como el AF, que constituye una opción de coste bajo. Al igual que en nuestro estudio, de Molon y cols. (2015) llevaron a cabo una investigación con el objetivo de analizar la estructura del hueso injertado en elevaciones de seno maxilar a través de la DF. Sin embargo, a diferencia de nuestro estudio, no encontraron diferencias significativas entre los valores obtenidos a los 6 meses del procedimiento quirúrgico.

La elevación sinusal traumática con ventanas laterales y material de relleno son el tratamiento de elección en muchos casos para la rehabilitación del sector maxilar posterior, aunque existen otras opciones terapéuticas como la elevación sinusal atraumática con osteótomos o la colocación de implantes cortos e implantes cigomáticos (Menassa y cols., 2022). Estos autores proponen el procedimiento de elevación sinusal con ventana lateral sin injerto, lo que implica el uso de la técnica de ventana lateral sin material de relleno y han tenido buenos resultados en el seguimiento posterior de osteointegración de los implantes (Cosola y cols., 202(T.

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

En nuestro estudio el tratamiento de elección fue la ventana lateral con material de obturación, y la tasa de éxito de los casos estudiados fue del 100% al año y medio, con osteointegración óptima de los implantes y del material de relleno. Cosola y cols. (2022) propusieron la misma técnica de ventana lateral, pero empleando colágeno absorbible en lugar de material de obturación, y obtuvieron hueso bien estructurado a los 6 meses, incluso mejor que la estructura inicial, tras el análisis histopatológico.

Comuzzi y cols. (2022) estudiaron los cambios dimensionales que tienen lugar tras el proceso de reabsorción utilizando diferentes materiales de obturación y establecieron que una vez que se estabiliza el proceso de remodelación, los cambios en el hueso son mínimos. Nosotros esta pérdida ósea a través del área ocupada y encontramos diferencias significativas entre los valores de esta área al inicio y al año y medio. Llegamos a la conclusión de que el material de relleno sufre un proceso de cambio que tarda en estabilizarse, lo que da como resultado la pérdida apical y lateral del material de relleno alrededor del implante.

En otra investigación similar, la densidad ósea y la DF de ambos grupos no encontraron una correlación entre valores histológicos y radiológicos, pero sí observaron que ambos valores fueron válidos radiológicamente para demostrar la formación de la arquitectura trabecular (Trindade-Suedam y cols., 2010).

Al igual que en nuestro estudio, donde observamos cómo se estructuraba el hueso con el tiempo para alcanzar la distribución característica de tabiques y espacios de hueso trabecular.

Comuzzi y cols. (2023) realizaron un estudio retrospectivo de tres años sobre implantes colocados en elevaciones de ventana lateral del seno maxilar teniendo en cuenta diferentes materiales de relleno y distintas características del implante, confirmando con

sus resultados que el diseño implantológico es crucial en la tasa de éxito del procedimiento quirúrgico

IV. CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

1. Partiendo de las limitaciones propias de nuestros estudios, podemos concluir en primer lugar que el hecho de que no existan diferencias significativas entre ambos grupos de fresado indica que el tipo de preparación aplicada no afecta a la calidad del hueso ni al proceso de osteointegración posterior.
2. La dimensión fractal es un buen indicador para evaluar los cambios importantes producidos en las trabéculas óseas, por lo que ofrece al clínico un valioso apoyo para evaluar los cambios producidos en el proceso de osteointegración. No obstante, se requieren más estudios para sembrar claridad y consenso sobre este tema.
3. El análisis radiográfico previo a la cirugía y tras colocar la carga protésica demuestra que existe un cambio óseo significativo, siendo mayor en esta fase la DMO que resulta del análisis fractal.
4. El material de relleno utilizado en la elevación de seno con ventana lateral se trata de un procedimiento que sufre una importante reabsorción, que, en nuestro caso, se estabilizó después de un año de carga.
5. La dimensión fractal también muestra cambios significativos en el tratamiento quirúrgico de elevación sinusal, lo que indica que el material de relleno sufre no sólo un fenómeno de reabsorción sino también un fenómeno de estructuración, recomponiendo la estructura trabecular para formar una malla final en un hueso inicialmente compacto.

V. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

Abdelsattar, M., Hosny El Khadem, A., y Atef Abdel Rassoul, M. (2021). Assessment of low-speed drilling without irrigation versus conventional irrigation with irrigation regarding heat generation and peri-implant marginal bone loss (randomized clinical trial). *Alexandria Dental Journal*, 46(2), 33-38.
<http://10.21608/ADJALEXU.2021.58075.1154>

Abraham, S., Deepak, K. T., Ambili, R., Preeja, C., y Archana, V. (2014). Gingival biotype and its clinical significance - A review. En *Saudi Journal for Dental Research* (Vol. 5, Número 1, pp. 3-7). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.ksujds.2013.06.003>

Abrahamsson, I., Berglundh, T., Linder, E., Lang, N. P., y Lindhe, J. (2004). Early bone formation adjacent to rough and turned endosseous implant surfaces. An experimental study in the dog. *Clinical Oral Implants Research*, 15(4), 381-392.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2004.01082.x>

Aghaloo, T., Misch, C., Lin, G.-H., Iacono, V., y Wang, H.-L. (2017). Bone Augmentation of the Edentulous Maxilla for Implant Placement: A Systematic Review. *The International Journal of Oral y Maxillofacial Implants*, 31, s19-s30.
<https://doi.org/10.11607/jomi.16suppl.g1>

Al-Aroomi, O. A., Sakran, K. A., Al-Aroomi, M. A., Mashrah, M. A., Ashour, S. H., Al-Attab, R., y Yin, L. (2023). Immediate implant placement with simultaneous bone augmentation versus delayed implant placement following alveolar ridge preservation: A clinical and radiographic study. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 124(1). <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2022.09.012>

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

- Albrektsson, T., Zarb, G., Whorthington, P., y Eriksson, A. R. (1986). The long-term efficacy of currently used dental implants: A review and proposed criteria of success. *The international journal of oral and maxillofacial implants*, 1(1), 11-25. <https://www.researchgate.net/publication/19633876>
- Alman, A. C., Johnson, L. R., Calverley, D. C., Grunwald, G. K., Lezotte, D. C., y Hokanson, J. E. (2012a). Diagnostic capabilities of fractal dimension and mandibular cortical width to identify men and women with decreased bone mineral density. *Osteoporosis International*, 23(5), 1631-1636. <https://doi.org/10.1007/s00198-011-1678-y>
- Anitua, E., Carda, C., y Andia, I. (2007). *A Novel Drilling Procedure and Subsequent Bone Autograft Preparation: A Technical Note* (Vol. 22). www.quintpub.com
- Antonacci, D., Fabbro, M. Del, Bollero, P., Stocchero, M., Jinno, Y., y Canullo, L. (2023). Clinical effects of conventional and underprepared drilling preparation of the implant site based on bone density: A systematic review and meta-regression. En *Journal of Prosthodontic Research* (Vol. 67, Número 1, pp. 23-34). Japan Prosthodontic Society. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_21_00275
- Aragonez, G. C., Pilecco, R. O., Dapieve, K. S., Burgo, T. A. L., Guilardi, L. F., Prochnow, C., Valandro, L. F., y Rippe, M. P. (2022). Simulation of CAD/CAM milling on lithium disilicate: Mechanical and topographic analyses of surface grinding different protocols. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105278>
- Artzi, Z., Tal, H., y Dayan, D. (2000). Porous Bovine Bone Mineral in Healing of Human Extraction Sockets. Part 1: Histomorphometric Evaluations at 9 Months. *Journal of Periodontology*, 71(6), 1015-1023. <https://doi.org/10.1902/jop.2000.71.6.1015>

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

- Augustin, G., Zigman, T., Davila, S., Udilljak, T., Staroveski, T., Brezak, D., y Babic, S. (2012). Cortical bone drilling and thermal osteonecrosis. En *Clinical Biomechanics* (Vol. 27, Número 4, pp. 313-325). <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.10.010>
- Avila-Ortiz, G., Hom-Lay, W., Galindo-Moreno, P., E. Misch, C., Rudek, I., y Neiva, R. (2012). Influence of lateral window dimensions on vital bone formation following maxillary sinus augmentation. *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 27(5), 1230-1238.
- Azcárate Velázquez, F. (2020). *Interacción mecánica entre implante y hueso alveolar: análisis de elementos finitos*. Universidad de Sevilla.
- Backes, A. R., y Bruno, O. M. (2012a). *Fractal and Multi-Scale Fractal Dimension analysis: a comparative study of Bouligand-Minkowski method*. <http://arxiv.org/abs/1201.3153>
- Backes, A. R., y Bruno, O. M. (2012b). *Fractal and Multi-Scale Fractal Dimension analysis: a comparative study of Bouligand-Minkowski method*. <http://arxiv.org/abs/1201.3153>
- Balkin, B. E. (1988). Implant dentistry: historical overview with current perspective. *Journal of dental education*, 52(12), 683-685. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.1988.52.12.tb02262.x>
- Barnkggei, I., Haffar, I. al, y Khattab, R. (2014). Osteoporosis prediction from the mandible using cone-beam computed tomography. *Imaging Science in Dentistry*, 44(4), 263-271. <https://doi.org/10.5624/isd.2014.44.4.263>
- Barrak, I., Boa, K., Joób-Fancsaly, Á., Varga, E., Sculean, A., y Piffkó, J. (2019). Heat Generation During Guided and Freehand Implant Site Preparation at Drilling Speeds *Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos*

- of 1500 and 2000 RPM at Different Irrigation Temperatures: An In Vitro Study. *Oral health y preventive dentistry*, 1-8. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a42507>
- Beer, A., Andre´gahleitner, A., Holm, A., Tschabitscher, M., y Homolka, P. (2003). Correlation of insertion torques with bone mineral density from dental quantitative CT in the mandible. *Clinical Oral Implants Research*, 14(5), 616-620. <https://doi.org/https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2003.00932.x>
- Benington, I. C., Biagioni, P. A., Briggs, J., Sheridan, S., y Lamey, P.-J. (2002). Thermal changes observed at implant sites during internal and external irrigation. *Clin. Oral Impl. Res*, 13, 293-297.
- Berglundh, T., y Lindhe, J. (1997). Healing around implants placed in bone defects treated with Bio-Oss®: An experimental study in the dog. *Clinical Oral Implants Research*, 8(2), 117-124. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1997.080206.x>
- Bernabeu-Mira, J. C., Pellicer-Chover, H., Peñarrocha-Diago, M., y Peñarrocha-Oltra, D. (2020). In vitro study on bone heating during drilling of the implant site: Material, design and wear of the surgical drill. *Materials*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/MA13081921>
- Bernabeu-Mira, J. C., Soto-Peñaloza, D., Peñarrocha-Diago, M., Camacho-Alonso, F., Rivas-Ballester, R., y Peñarrocha-Oltra, D. (2021). Low-speed drilling without irrigation versus conventional drilling for dental implant osteotomy preparation: a systematic review. *Clinical Oral Investigations*, 25(7), 4251-4267. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03939-z/Published>
- Blus, C., Salama, M. y Salama, H. (2008). Sinus bone grafting procedures using ultrasonic bone surgery: 5-Year experience. *International Journal of Periodontics and*

- Restorative Dentistry*, 28, 613-616.
<https://www.researchgate.net/publication/5246617>
- Bollen, A. M., Taguchi, A., Hujoel, P., y Hollender, L. (2001). Fractal dimension on dental radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology*, 270-275.
- Bosshardt, D. D., Salvi, G. E., Huynh-Ba, G., Ivanovski, S., Donos, N., y Lang, N. P. (2011). The role of bone debris in early healing adjacent to hydrophilic and hydrophobic implant surfaces in man. *Clinical Oral Implants Research*, 22(4), 357-364. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02107.x>
- Botticelli, D., y Lang, N. P. (2017). Dynamics of osseointegration in various human and animal models - a comparative analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 28(6), 742-748. <https://doi.org/10.1111/clr.12872>
- Brånemark, P. I., Adell, R., Breine, U., Hansson, B. O., Lindström, J., y Ohlsson, A. (1969). Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery*, 3(2), 81-100. <https://doi.org/https://doi.org/10.3109/02844316909036699>
- Brizuela-Velasco, A., Álvarez-Arenal, Á., Gil-Mur, F. J., Herrero-Climent, M., Chávarri-Prado, D., Chento-Valiente, Y., y Dieguez-Pereira, M. (2015). Relationship between insertion torque and resonance frequency measurements, performed by resonance frequency analysis, in micromobility of dental implants: An in vitro study. *Implant Dentistry*, 24(5), 607-611. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000318>
- Buckland-Wright, J. C., Lynch, J. A., Rymer, J., y Fogelman, I. (1994). Fractal signature analysis of macroradiographs measures trabecular organization in lumbar vertebrae of postmenopausal women. *Calcified tissue international*, 54(2), 106-112.

- Bunyaratavej, P., y Wang, H.-L. (2001). Collagen Membranes: A Review. *Journal of Periodontology*, 72(2), 215-229.
<https://doi.org/http://doi.org/10.1902/jop.2001.72.2.215>
- Caminer Ortiz, P. A. (2020). *Impacto del edentulismo en la calidad de vida* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49833>
- Campos, F. E., Gomes, J. B., Marin, C., Teixeira, H. S., Suzuki, M., Witek, L., Zanetta-Barbosa, D., y Coelho, P. G. (2012). Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages: An experimental study in dogs. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(1).
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2011.08.006>
- Caneva, M., Salata, L. A., de Souza, S. S., Bressan, E., Botticelli, D., y Lang, N. P. (2010). Hard tissue formation adjacent to implants of various size and configuration immediately placed into extraction sockets: An experimental study in dogs. *Clinical Oral Implants Research*, 21(9), 885-890. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.01931.x>
- Celeste, A. (2014). A Brief Historical Perspective on Dental Implants, Their Surface Coatings and Treatments. *The Open Dentistry Journal*, 8(1), 50-55.
<https://doi.org/10.2174/1874210601408010050>
- Chappuis, V., Engel, O., Reyes, M., Shahim, K., Nolte, L. P., y Buser, D. (2013). Ridge alterations post-extraction in the esthetic zone: A 3D analysis with CBCT. *Journal of Dental Research*, 92(12). <https://doi.org/10.1177/0022034513506713>
- Cho, H. W., Dong, J. K., Jin, T. H., Oh, S. C., Lee, H. H., y Lee, J. W. (2002). A study on the fracture strength of implant-supported restorations using milled ceramic

- abutments and all-ceramic crowns. *The international Journal of Prosthodontics*, 15(1), 9-13.
- Coelho, P. G., Suzuki, M., Guimaraes, M. V. M., Marin, C., Granato, R., Gil, J. N., y Miller, R. J. (2010). Early bone healing around different implant bulk designs and surgical techniques: A study in dogs. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 12(3), 202-208. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2009.00153.x>
- Comuzzi, L., Tumedei, M., Petrini, M., Romasco, T., Lorusso, F., De Angelis, F., Piattelli, A., Tatullo, M., y Di Pietro, N. (2023). Clinical and Radiological Evaluation of a Self-Condensing Bone Implant in One-Stage Sinus Augmentation: A 3-Year Follow-Up Retrospective Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20032583>
- Comuzzi, L., Tumedei, M., Piattelli, A., Tartaglia, G., y Del Fabbro, M. (2022). Radiographic Analysis of Graft Dimensional Changes in Transcrestal Maxillary Sinus Augmentation: A Retrospective Study. *Materials*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ma15092964>
- Cosola, S., Di Dino, B., Traini, T., Kim, Y. S., Park, Y. M., Marconcini, S., Covani, U., y Vinci, R. (2022). Radiographic and Histomorphologic Evaluation of the Maxillary Bone after Crestal Mini Sinus Lift Using Absorbable Collagen—Retrospective Evaluation. *Dentistry Journal*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/dj10040058>
- Cunha, E., Leal, C., Munhós, M., y Poiaras Baptista, I. (2017). The gold nun: a case of a gold ligature from the 15 th century and the origins of restorative dentistry in Europe. *Anthropologischer Anzeiger; Bericht uber die biologisch-anthropologische Literatur*, 74(4), 347-353. <https://doi.org/http://doi.org/10.1127/anthranz/2017/0762>

- De Azambuja Carvalho, P. H., dos Santos Trento, G., Moura, L. B., Cunha, G., Gabrielli, M. A. C., y Pereira-Filho, V. A. (2019). Horizontal ridge augmentation using xenogenous bone graft—systematic review. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 23(3), 271-279. <https://doi.org/10.1007/s10006-019-00777-y>
- De la Rosa Rubalcava, S., Zamarripa Diaz, E., y Cornejo Torres, A. del C. (2016). Implantes una revolución en estomatología. *Implantologia Actual*, 23, 19-21.
- De Molon, R. S., de Paula, W. N., Spin-Neto, R., Verzola, M. H. A., Tosoni, G. M., Comelli Lia, R. C., Scaf, G., y Marcantonio, E. (2015). Correlation of fractal dimension with histomorphometry in maxillary sinus lifting using autogenous bone graft. *Brazilian Dental Journal*, 26(1), 11-18. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201300290>
- Degidi, M., Nardi, D., y Piattelli, A. (2011). One abutment at one time: Non-removal of an immediate abutment and its effect on bone healing around subcrestal tapered implants. *Clinical Oral Implants Research*, 22(11), 1303-1307. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02111.x>
- Delmas, J., Radulesco, T., Varoquaux, A., Thomassin, J.-M., Dessi, P., y Michel, J. (2018). Anatomía de las cavidades nasosinusales. *EMC - Otorrinolaringología*, 47(2), 1-20. [https://doi.org/10.1016/s1632-3475\(18\)89285-2](https://doi.org/10.1016/s1632-3475(18)89285-2)
- Dos Santos Corpas, L., Jacobs, R., Quirynen, M., Huang, Y., Naert, I., y Duyck, J. (2011). Peri-implant bone tissue assessment by comparing the outcome of intra-oral radiograph and cone beam computed tomography analyses to the histological standard. *Clinical Oral Implants Research*, 22(5), 492-499. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02029.x>
- Driskel, T. (1987). History of implants. *CDA Journal*, 15(10), 16-25.

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

- Dzhongova, E., y Petrova, I. (2021). Epidemiological research on the prevalence and causes of edentulism in the population of Varna, Bulgaria. *Varna Medical Forum*, 10(1), 150-154. <http://dx.doi.org/10.14748/vmf.v10i1.7502>
- Ella, B., Noble, R. D. C., Lauverjat, Y., Sédarat, C., Zwetyenga, N., Siberchicot, F., y Caix, P. (2008). Septa within the sinus: effect on elevation of the sinus floor. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(6), 464-467. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2008.01.016>
- Favero, V., Sakuma, S., Alccayhuaman, K. A. A., Benedetto, G. A., Bengazi, F., y Botticelli, D. (2018). Healing at sites prepared using different drilling protocols. An experimental study in the tibiae of sheep. *PLoS ONE*, 13(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202957>
- Fazzalari, N. L., y Parkinson, H. (1996). Fractal dimension and architecture of trabecular bone. *Journal of Pathology*, 178, 100-105.
- Fernández-Martínez, M., Gómez García, F. J., Sánchez, Y. G., y Jornet, P. L. (2018). An intelligent system to study the fractal dimension of trabecular bones. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 35(4), 4533-4540. <https://doi.org/10.3233/JIFS-169772>
- Fernández-Martínez, M., Guerrero-Sánchez, Y., y López-Jornet, P. (2019). A novel approach to improve the accuracy of the box dimension calculations: Applications to trabecular bone quality. *Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S*, 12(4-5), 1527-1534. <https://doi.org/10.3934/dcdss.2019105>
- Fernández-Tresguerres-Hernández-Gil, I., Angel Alobera Gracia, M., del Canto Pingarrón, M., Blanco Jerez, L., Carlos, J., y Titular, P. (2006). Physiological bases

- of bone regeneration I. Histology and physiology of bone tissue. *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal*, 11(1), 47-51.
- Flanagan, D. (2010). Osteotomy irrigation: Is it necessary? *Implant Dentistry*, 19(3), 241-249. <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3181dc9852>
- Fraguas de San José, L., Ruggeri, F. M., Rucco, R., Zubizarreta-Macho, Á., Pérez-Barquero, J. A., Riad Deglow, E., y Hernández Montero, S. (2020). Influence of drilling technique on the radiographic, thermographic, and geomorphometric effects of dental implant drills and osteotomy site preparations. *Journal of Clinical Medicine*, 9(11), 1-11. <https://doi.org/10.3390/jcm9113631>
- Franciotti, R., Moharrami, M., Quaranta, A., Bizzoca, M. E., Piattelli, A., Aprile, G., y Perrotti, V. (2021). Use of fractal analysis in dental images for osteoporosis detection: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 32(6), 1041-1052. <https://doi.org/10.1007/s00198-021-05852-3/Published>
- Frizzera, F., Spin-Neto, R., Padilha, V., Nicchio, N., Ghiraldini, B., Bezerra, F., y Marcantonio, E. (2022). Effect of osseodensification on the increase in ridge thickness and the prevention of buccal peri-implant defects: an in vitro randomized split mouth pilot study. *BMC Oral Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02242-x>
- Frösch, L., Mukaddam, K., Filippi, A., Zitzmann, N. U., y Köhl, S. (2019). Comparison of heat generation between guided and conventional implant surgery for single and sequential drilling protocols—An in vitro study. *Clinical Oral Implants Research*, 30(2), 121-130. <https://doi.org/10.1111/clr.13398>

- Gao, S. S., Zhang, Y. R., Zhu, Z. L., y Yu, H. Y. (2013). Micromotions and combined damages at the dental implant/bone interface. En *International Journal of Oral Science* (Vol. 4, Número 4, pp. 182-188). <https://doi.org/10.1038/ijos.2012.68>
- Geraets, W. G. M., Van Der Stelt, P. F., Netelenbos, C. J., y Elders, P. J. M. (1990). A New Method for Automatic Recognition of the Radiographic Trabecular Pattern. En *Journal of bone and mineral research* (Vol. 5, Número 3). Mary Ann Liebert, Inc., Publishers.
- Geraets, W., y Van Der Stelt, P. F. (2000). Fractal properties of bone. *Dentomaxillofacial Radiology*, 29(3), 144-153. www.nature.com/dmfr
- Giro, G., Tovar, N., Marin, C., Bonfante, E. A., Jimbo, R., Suzuki, M., Janal, M. N., y Coelho, P. G. (2013). The effect of simplifying dental implant drilling sequence on osseointegration: An experimental study in dogs. *International Journal of Biomaterials*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/230310>
- González-Martín, O., Lee, E. A., y Veltri, M. (2012). CBCT fractal dimension changes at the apex of immediate implants placed using undersized drilling. *Clinical Oral Implants Research*, 23(8), 954-957. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02246.x>
- Gosau, M., Rink, D., Driemel, O., y Draenert, F. G. (2009). Maxillary sinus anatomy: A cadaveric study with clinical implications. *Anatomical Record*, 292(3), 352-354. <https://doi.org/10.1002/ar.20859>
- Griggs, J. A. (2018). Using fractal geometry to examine failed implants and prostheses. *Dental Materials*, 34(12), 1748-1755. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.007>
- Handschel, J., Simonowska, M., Naujoks, C., Depprich, R. A., Ommerborn, M. A., Meyer, U., y Kübler, N. R. (2009). A histomorphometric meta-analysis of sinus *Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos*

- elevation with various grafting materials. *Head and Face Medicine*, 5(1).
<https://doi.org/10.1186/1746-160X-5-12>
- Hayek, E., Aoun, G., Geha, H., y Nasseh, I. (2020). Image-based bone density classification using fractal dimensions and histological analysis of implant recipient site. *Acta Informatica Medica*, 28(4), 272-277.
<https://doi.org/10.5455/AIM.2020.28.272-277>
- Heo, M. S., Park, K. S., Lee, S. S., Choi, S. C., Koak, J. Y., Heo, S. J., Han, C. H., y Kim, J. D. (2002). Fractal analysis of mandibular bony healing after orthognathic surgery. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 94(6), 763-767. <https://doi.org/10.1067/moe.2002.128972>
- Hériveaux, Y., Vayron, R., Fraulob, M., Lomami, H. A., Lenormand, C., y Haïat, G. (2021). Assessment of dental implant stability using resonance frequency analysis and quantitative ultrasound methods. *Journal of Prosthodontic Research*, 65(3), 421-427. https://doi.org/10.2186/JPR.JPR_D_20_00052
- Hoffmann-Axthelm, W. (1981). *History of Dentistry* (Q. Publishing, Ed.).
- Hua, Y., Nackaerts, O., Duyck, J., Maes, F., y Jacobs, R. (2009). Bone quality assessment based on cone beam computed tomography imaging. *Clinical Oral Implants Research*, 20(8), 767-771. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01677.x>
- Hunter, J. (2015). *The Works of John Hunter* (Vol. 3). Cambridge University Press.
- Islam, M. A., Kamarrudin, N. S., Daud, R., Mohd Noor, S. N. F., Azmi, A. I., y Razlan, Z. M. (2022). A Review of Surgical Bone Drilling and Drill Bit Heat Generation for Implantation. En *Metals* (Vol. 12, Número 11). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/met12111900>

- Iyer, S., Weiss, C., y Mehta, A. (1997). Effects of drill speed on heat production and the rate and quality of bone formation in dental implant osteomies. Part II: Relationship between drill speed and healing. *International Journal of Prosthodontics*, 10(6), 410-411.
- Javed, F., Ahmed, H., Crespi, R., y Romanos, G. (2013). Role of primary stability for successful osseointegration of dental implants: Factors of influence and evaluation. En *Interventional Medicine and Applied Science* (Vol. 5, Número 4, pp. 162-167). Akademiai Kiado Zrt. <https://doi.org/10.1556/IMAS.5.2013.4.3>
- Jensen, T., Schou, S., Stavropoulos, A., Terheyden, H., y Holmstrup, P. (2012). Maxillary sinus floor augmentation\with Bio-Oss or Bio-Oss mixed with autogenous bone as graft: A systematic review. En *Clinical Oral Implants Research* (Vol. 23, Número 3, pp. 263-273). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02168.x>
- Jimbo, R., Tovar, N., Anchieta, R. B., MacHado, L. S., Marin, C., Teixeira, H. S., y Coelho, P. G. (2014). The combined effects of undersized drilling and implant macrogeometry on bone healing around dental implants: An experimental study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 43(10), 1269-1275. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2014.03.017>
- Jordi, C., Mukaddam, K., Lambrecht, J. T., y Kühn, S. (2018). Membrane perforation rate in lateral maxillary sinus floor augmentation using conventional rotating instruments and piezoelectric device—a meta-analysis. *International Journal of Implant Dentistry*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40729-017-0114-2>
- Karaca, F., y Aksakal, B. (2013). Effects of various drilling parameters on bone during implantology: An in vitro experimental study. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 15(4), 25-32. <https://doi.org/10.5277/abb130404>

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

- Karadag, I., y Yilmaz, H. G. (2022). Evaluation of change in trabecular bone structure surrounding dental implants by fractal dimension analysis and comparison with radiomorphometric indicators: a retrospective study. *PeerJ*. <https://doi.org/10.7717/peerj.13145>
- Karmani, S. (2006). The thermal properties of bone and the effects of surgical intervention. *Current Orthopaedics*, 20(1), 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.cuor.2005.09.011>
- Karthik, K., Sivakumar, Sivaraj, y Thangaswamy, V. (2013). Evaluation of implant success: A review of past and present concepts. En *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* (Vol. 5, Número SUPPL.1). <https://doi.org/10.4103/0975-7406.113310>
- Kasabah, S., Krug, J., Simunek, A., y Cevallos Lecaro, M. (2003). Can we predict maxillary sinus mucosa perforation? *Acta medica (Hradec Kralove)*, 46(1), 19-23.
- Kato, C. N., Barra, S. G., Tavares, N. P. K., Amaral, T. M. P., Brasileiro, C. B., Mesquita, R. A., y Abreu, L. G. (2020). Use of fractal analysis in dental images: A systematic review. En *Dentomaxillofacial Radiology* (Vol. 49, Número 2). British Institute of Radiology. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180457>
- Kato, S., Botticelli, D., de Santis, E., Kanayama, M., Ferreira, S., y Rangel-Garcia, I. (2021). Sinus mucosa thinning and perforation after sinus augmentation. A histological study in rabbits. *Oral Maxillofacial Surgery*, 25, 477-485. <https://doi.org/10.1007/s10006-021-00946-y/Published>
- Kerawala, C. J., Martin, I. C., Allan, W., y Williams, E. D. (1999). The effects of operator technique and bur design on temperature during osseous preparation for

- osteosynthesis self-tapping screws. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology and endodontics*, 88(2), 145-150.
- Kim, S. J., Yoo, J., Kim, Y. S., y Shin, S. W. (2010). Temperature change in pig rib bone during implant site preparation by low-speed drilling. *Journal of applied oral science: revista FOB*, 18(5), 522-527.
- Kingsmill, V. J., y Boyde, A. (1998). Variation in the apparent density of human mandibular bone with age and dental status. En *J. Anat* (Vol. 192).
- Kotsakis, G. A., y Romanos, G. E. (2022). Biological mechanisms underlying complications related to implant site preparation. En *Periodontology 2000* (Vol. 88, Número 1, pp. 52-63). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/prd.12410>
- Kotsu, M., Alccayhuaman, K. A. A., Ferri, M., Iezzi, G., Piattelli, A., Mesa, N. F., y Botticelli, D. (2022). Osseointegration at Implants Installed in Composite Bone: A Randomized Clinical Trial on Sinus Floor Elevation. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/jfb13010022>
- Kristoufek, L., y Vosvrda, M. (2014). Measuring capital market efficiency: Long-term memory, fractal dimension and approximate entropy. *European Physical Journal B*, 87(7). <https://doi.org/10.1140/epjb/e2014-50113-6>
- Kulczyk, T., Czajka-Jakubowska, A., y Przystańska, A. (2018). A comparison between the implant stability quotient and the fractal dimension of alveolar bone at the implant site. *BioMed Research International*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4357627>
- Lanas Terán, G. A. (2017). Implantología Oral: Revisiones de Literatura. *Revista Científica de Investigación actualización del mundo de las Ciencias*, 1(4), 885-887. <https://doi.org/10.26820/reciamuc/1.4.2017.881-899>
- Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos*

- le Corroller, T., Halgrin, J., Pithioux, M., Guenoun, D., Chabrand, P., y Champsaur, P. (2012). Combination of texture analysis and bone mineral density improves the prediction of fracture load in human femurs. *Osteoporosis International*, 23(1), 163-169. <https://doi.org/10.1007/s00198-011-1703-1>
- Lee, J. E., Ozdoganlar, O. B., y Rabin, Y. (2012). An experimental investigation on thermal exposure during bone drilling. *Medical Engineering and Physics*, 34(10), 1510-1520. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.03.002>
- Lee, W. J., Lee, S. J., y Kim, H. S. (2010). Analysis of location and prevalence of maxillary sinus septa. *Journal of Periodontal and Implant Science*, 40(2), 56-60. <https://doi.org/10.5051/jpis.2010.40.2.56>
- Lin, I. C., Gonzalez, A. M., Chang, H. J., Kao, S. Y., y Chen, T. W. (2011). A 5 year follow up of 80 implants in 44 patients placed immediately after the lateral trap-door window procedure to accomplish maxillary sinus elevation without bone grafting. *The international journal of oral y maxillofacial implants*, 26(5), 1079-1086.
- Lin, M. J., Dubin, D. P., Torbeck, R. L., Bernstein, D. M., Nabatian, A., Dolan, C. K., Bacigalupi, R., Zade, J., Zheng, Z., Desman, G., y Khorasani, H. (2023). Early Fractional Ablative Laser for Skin Cancer Excision Scars: A Randomized Split-Scar Study. *Dermatologic Surgery*, 49(4), 338-342. <https://doi.org/10.1097/DSS.00000000000003720>
- Lindhe, J., Lang, N., y Karring, T. (2005). *Periodontología clínica e implantología odontológica* (5ª). Medica panamericana.
- Lozano Chiluiza, K. E. (2021). Reabsorción ósea en edentulismo. En *Suparyanto dan Rosad* (2015). Universidad de Guayaquil.

- Lund, V. (2002). The Evolution of Surgery on the Maxillary Sinus for Chronic Rhinosinusitis. *The Laryngoscope*, 112(3), 415-419.
- Lundskog, J. (1972). Heat and bone tissue. An experimental investigation of the thermal properties of bone and threshold levels for thermal injury. *Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery*, 9, 1-80.
- Lynch, C. D., MacGillycuddy, C. T., y O'Sullivan, V. R. (2005). Pierre Fauchard and his rôle in the development of obturators. En *British Dental Journal* (Vol. 199, Número 9, pp. 603-605). <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4812926>
- Machry, R. V., Cadore-Rodrigues, A. C., Packaeser, M. G., Lorenzett, E., Burgo, T. A. de L., Pereira, G. K. R., y Valandro, L. F. (2021). Influence of surface treatment of resin composite substrate on the load-bearing capacity under fatigue of lithium disilicate monolithic simplified restorations. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104792>
- Mahesh, L., Mascarenhas, G., Bhasin, M., Guirado, C., y Juneja, S. (2020). Histological evaluation of two different anorganic bovine bone matrixes in lateral wall sinus elevation procedure: A retrospective study. *National Journal of Maxillofacial Surgery*, 11(2), 258. https://doi.org/10.4103/njms.njms_81_19
- Mandelbrot, B. (1983). *The fractal geometry of nature* (Vol. 1). WH Freeman.
- Manfro, R., Fonseca, F. S., Bortoluzzi, M. C., y Sendyk, W. R. (2014). Comparative, Histological and Histomorphometric Analysis of Three Anorganic Bovine Xenogenous Bone Substitutes: Bio-Oss, Bone-Fill and Gen-Ox Anorganic. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*, 13(4), 464-470. <https://doi.org/10.1007/s12663-013-0554-z>

- Marzook, H. A. M., Yousef, E. A., Denewar, M., y Farahat, M. R. L. (2022). Response to the Letter to the Editor: Minimise damage of heat generated during drilling procedure. In-vitro assessment of bone viability with different implant drill speeds. En *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* (Vol. 60, Número 8, pp. 1136-1137). Churchill Livingstone. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.10.288>
- Matsunaga, S., Shirakura, Y., Ohashi, T., Nakahara, K., Tamatsu, Y., Takano, N., y Ide, Y. (2010). Biomechanical role of peri-implant cancellous bone architecture. *The International journal of prosthodontics*, 23(4), 333-338.
- Mavrogenis, A. F., Dimitriou, R., Parvizi, J., y Babis, G. C. (2009). Biology of implant osseointegration. *Journal of musculoskeletal y neronal interactions*, 9(2), 61-71.
- McAllister, B. S., y Haghghat, K. (2007). Bone augmentation techniques. *Journal of Periodontology*, 78(3), 377-396. <https://doi.org/10.1902/jop.2007.060048>
- Menassa, G., Rahman Kassir, A., Landi, L., Bou, N., Naaman, A., y Chakar, C. (2022). Implant placement with sinus floor elevation via the lateral approach: a case series with 4 years post-loading radiographical outcomes and implant survival rate. *Journal of Craniofacial Surgery*, 33(5), 461-465. <https://doi.org/10.1007/s10006-020-00908-w/Published>
- Misch, C. (2009). *Implantología contemporánea* (3ª). Elsevier Mosby.
- Misch, C. E., y Dietsch, F. (1993). Bone-grafting in implant dentistry. *Implant dentistry*, 2(3), 158-166. <https://doi.org/10.1097/00008505-199309000-00003>
- Mishra, S., Kumar, M., Mishra, L., Mohanty, R., Nayak, R., Das, A. C., Mishra, S., Panda, S., y Lapinska, B. (2022). Fractal Dimension as a Tool for Assessment of Dental Implant Stability—A Scoping Review. En *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 11, Número 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm11144051>
- Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos*

- Moore, K., y Dalley, A. (2002). *Anatomía con orientación clínica* (4ª). Médica Panamericana.
- Mu, T. J., Lee, D. W., Park, K. H., y Moon, I. S. (2013). Changes in the fractal dimension of peri-implant trabecular bone after loading: A retrospective study. *Journal of Periodontal and Implant Science*, 43(5), 209-214.
<https://doi.org/10.5051/jpis.2013.43.5.209>
- Nagy, Á. L., Tóth, Z., Tarjányi, T., Práger, N. T., y Baráth, Z. L. (2021). Biomechanical properties of the bone during implant placement. *BMC Oral Health*, 21(1).
<https://doi.org/10.1186/s12903-021-01442-1>
- Nair, M. K., Seyedain, A., Webber, R. L., Nair, U. P., Piesco, N. P., Agarwal, S., Mooney, M. P., y Gröndahl, H. G. (2001). Fractal analyses of osseous healing using tuned aperture computed tomography images. *European Radiology*, 11(8), 1510-1515.
<https://doi.org/10.1007/s003300000773>
- Nevins, M., Camelo, M., De Angelis, N., Hanratty, J. J., Kwon, J. J., y Rasperini, G. (2011). The Clinical and Histologic Efficacy of Xenograft Granules for Maxillary Sinus Floor Augmentation Palatal harvesting View project CEMP-1 Levels in Periodontal Wound Fluid during the Early Phase of Healing: Prospective Clinical Trial View project. *International Journal of periodontics y Restorative Dentistry*, 31(3). <https://www.researchgate.net/publication/51111529>
- Oh, E., y Kraut, R. A. (2011). Effect of sinus membrane perforation on dental implant integration: A retrospective study on 128 patients. *Implant Dentistry*, 20(1), 13-19.
<https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3182061a73>
- Oh, J.-H., Fang, Y., Jeong, S.-M., y Choi, B.-H. (2016). The effect of low-speed drilling without irrigation on heat generation: an experimental study. *Journal of the Korean*

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

- Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 42(1), 9.
<https://doi.org/10.5125/jkaoms.2016.42.1.9>
- Oh, T.-Ju., Meraw, S. J., Lee, E.-J., Giannobile, W. V, y Wang, H.-L. (2003). Comparative analysis of collagen membranes for the treatment of implant dehiscence defects. *Clinical oral implants research*, 14(1), 80-90.
- Ohta, K., Takechi, M., Minami, M., Shigeishi, H., Hiraoka, M., Nishimura, M., y Kamata, N. (2010). Influence of factors related to implant stability detected by wireless resonance frequency analysis device. *Journal of Oral Rehabilitation*, 37(2), 131-137. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2009.02032.x>
- Olvera-Huertas, A. J., Linares-Recatalá, M., Herrera-Briones, F. J., Vallecillo-Capilla, M. F., Manzano-Moreno, F. J., y Reyes-Botella, C. (2021). Microbiological analysis of autologous bone particles obtained by low-speed drilling and treated with different decontamination agents. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 50(1), 104-108. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2020.04.019>
- Pandey, R. K., y Panda, S. S. (2013). Drilling of bone: A comprehensive review. En *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma* (Vol. 4, Número 1, pp. 15-30). <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2013.01.002>
- Patel, S. (2009). New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. En *International Endodontic Journal* (Vol. 42, Número 6, pp. 463-475). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01531.x>
- Pauwels, R., Faruangaeng, T., Charoenkarn, T., Ngonphloy, N., y Panmekiate, S. (2015). Effect of exposure parameters and voxel size on bone structure analysis in CBCT. *Dentomaxillofacial Radiology*, 44(8). <https://doi.org/10.1259/dmfr.20150078>

- Pebé, P. J., Ramos, A., Beovide, A. V., Borgia, G. y Ravecca, T. (2017). A randomized clinical trial comparing two particle sizes in lateral window sinus lift with deproteinized bovine bone mineral: clinical and histological results Introduction and background. *Odontostomatología*, 19(SPE), 57-67. <http://10.22592/ode2017n.esp.p57>
- Pellicer-Chover, H., Peñarrocha-Oltra, D., Aloy-Prosper, A., Sanchis-Gonzalez, J. C., Peñarrocha-Diago, M., y Peñarrocha-Diago, M. (2017). Comparison of peri-implant bone loss between conventional drilling with irrigation versus low-speed drilling without irrigation. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 22(6), e730-e736. <https://doi.org/10.4317/medoral.21694>
- Quirynen, M., Naert, I., y van Steenberghe, D. (1992). Fixture design and overload influence marginal bone loss and future success in the Brånemark® system. En *Clinical Oral Implants Research* (Vol. 3, Número 3, pp. 104-111). <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1992.030302.x>
- Radi L., J. N., Becerras, F., y Otálvaro R., N. (2003). Cirugía de elevación del piso de seno maxilar. I Consideraciones básicas generales. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquía*, 14(1), 84-91.
- Rasband, W. S. (2016). *ImageJ*.
- Ring, M. E. (1985). *Dentistry. An Illustrated History*. (N. York. Harry N. Abrams., Ed.; 1ª).
- Romandini, M., Baima, G., Antonoglou, G., Bueno, J., Figuero, E., y Sanz, M. (2021). Periodontitis, Edentulism, and Risk of Mortality: A Systematic Review with Meta-analyses. *Journal of Dental Research*, 100(1), 37-49. <https://doi.org/10.1177/0022034520952401>
- Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos*

- Ronay, V., Miner, R. M., Will, L. A., y Arai, K. (2008). Mandibular arch form: The relationship between dental and basal anatomy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(3), 430-438.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.10.040>
- Rosenthal, D. I., Ganott, M. A., Wyshak, G., Slovik, D. M., Doppelt, S. H., y Neer, R. M. (1985). Quantitative computed tomography for spinal density measurement. Factors affecting precision. *Investigative Radiology*, 20(3), 306-310.
- Rubin, C. T., Mcleod, K. J., y Bain, S. D. (1990). Funcional strains and cortical bone adaptation: epigenetic assurance of skeletal integrity. *Journal of biomechanics*, 23(1), 43-54.
- Ruiz Gómez, B. (2018). *Alto torque de inserción en implantología*. Universidad Complutense de Madrid.
- Ruttimann, U. E., Webber, R. L., y Hazelrig, J. B. (1992). Fractal dimension from radiographs of peridental alveolar bone: a possible diagnostic indicator of osteoporosis. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 74(1), 98-110.
- Salas- Luévano, M. A., y Rivas-Guitierrez, J. (2001). La odontología del pueblo maya. *Revista de la Asociacion Dental Mexicana - ADM*, LVIII(3), 105-107.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2001/od013e.pdf>
- Salomó-Coll, O., Auriol-Muerza, B., Lozano-Carrascal, N., Hernández-Alfaro, F., Wang, H. L., y Gargallo-Albiol, J. (2021). Influence of bone density, drill diameter, drilling speed, and irrigation on temperature changes during implant osteotomies: an in vitro study. *Clinical Oral Investigations*, 25(3), 1047-1053.
<https://doi.org/10.1007/s00784-020-03398-y>

- Sánchez, I., y Uzcátegui, G. (2011). Fractals in dentistry. En *Journal of Dentistry* (Vol. 39, Número 4, pp. 273-292). <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.01.010>
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., y Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of Image Analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671-675.
- Schulte, W., y Lukas, D. (1992). The periostest method. *International dental journal*, 42(6), 433-440.
- Sennerby, L., y Meredith, N. (1998). Resonance frequency analysis: measuring implant stability and osseointegration. *Compendium of continuing education in dentistry*, 19(5), 493-504.
- Shakouri, E., Sadeghi, M. H., Maerefat, M., y Shajari, S. (2014). Experimental and analytical investigation of the thermal necrosis in high-speed drilling of bone. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 228(4), 330-341. <https://doi.org/10.1177/0954411914524933>
- Shao, Q., Li, J., Pu, R., Feng, Y., Jiang, Z., y Yang, G. (2021). Risk factors for sinus membrane perforation during lateral window maxillary sinus floor elevation surgery: A retrospective study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 23(6), 812-820. <https://doi.org/10.1111/cid.13052>
- Sharan, A., y Madjar, D. (2006). Correlation between maxillary sinus floor topography and related root position of posterior teeth using panoramic and cross-sectional computed tomography imaging. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 102(3), 375-381. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.09.031>

- Soler-Alcaraz, S., Guerrero-Sánchez, Y., Pérez-Sayáns, M., Bernabeu-Mira, J. C., Peñarrocha-Oltra, D., y Camacho-Alonso, F. (2023). Evaluation of Change in Radiographic Fractal Dimension around Dental Implants Placed with Low-Speed Drilling and Standard Drilling Protocols. *Journal of Clinical Medicine*, 12(6), 2244. <https://doi.org/10.3390/jcm12062244>
- Strbac, G. D., Giannis, K., Unger, E., Mittlböck, M., Watzek, G., y Zechner, W. (2014). A novel standardized bone model for thermal evaluation of bone osteotomies with various irrigation methods. *Clinical Oral Implants Research*, 25(5), 622-631. <https://doi.org/10.1111/clr.12090>
- Tamami Bedon, A. (2018). *Causas y consecuencias de la disminución de la dimensión vertical en pacientes geriátricos con edentulismo total*. Universidad de Guayaquil.
- Testori, T. (2011). Maxillary sinus surgery: Anatomy and advanced diagnostic imaging. *Journal of Implant and Reconstructive Dentistry*, 3(1), 18-25. www.implantologiaitalia.it.
- Timmenga, N. M., Raghoobar, G. M., Liem, R. S. B., van Weissenbruch, R., Manson, W. L., Vissink, A., y Timmenga, N. M. (2003). Effects of maxillary sinus floor elevation surgery on maxillary sinus physiology. *Eur J Oral Sci*, 111, 189-197.
- Tolstunov, L., Hamrick, J. F. E., Broumand, V., Shilo, D., y Rachmiel, A. (2019). Bone Augmentation Techniques for Horizontal and Vertical Alveolar Ridge Deficiency in Oral Implantology. En *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America* (Vol. 31, Número 2, pp. 163-191). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.01.005>
- Torres, S. R., Chen, C. S. K., Leroux, B. G., Lee, P. P., Hollender, L. G., y Schubert, M. M. (2011). Fractal dimension evaluation of cone beam computed tomography in *Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la osteotomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos*

- patients with bisphosphonate-associated osteonecrosis. *Dentomaxillofacial Radiology*, 40(8), 501-505. <https://doi.org/10.1259/dmfr/14636637>
- Toscano, N. J., Holtzclaw, D., y Rosen, P. S. (2010). The Effect of Piezoelectric Use on Open Sinus Lift Perforation: A Retrospective Evaluation of 56 Consecutively Treated Cases From Private Practices. *Journal of Periodontology*, 81(1), 167-171. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.090190>
- Tözüm, T. F., Dursun, E., y Tulunoglu, I. (2009). Sinus Floor Elevation From a Maxillary Molar Tooth Extraction Socket in a Patient With Chronic Inflammation. *Journal of Periodontology*, 80(3), 521-526. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.080406>
- Trindade-Suedam, I. K., de Morais, J. A. N. D., Faeda, R. S., Leite, F. R. M., Tosoni, G. M., Neto, C. B., Marcantonio, E., y Scaf, G. (2010). Bioglass associated with leukocyte-poor platelet-rich plasma in the rabbit maxillary sinus: histomorphometric, densitometric, and fractal analysis. *The Journal of oral implantology*, 36(5), 333-343. <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-09-00072>
- Trisi, P., Berardini, M., Falco, A., Podaliri Vulpiani, M., y Perfetti, G. (2014). Insufficient irrigation induces peri-implant bone resorption: An in vivo histologic analysis in sheep. *Clinical Oral Implants Research*, 25(6), 696-701. <https://doi.org/10.1111/clr.12127>
- Trisi, P., y Rao, W. (1999). Bone classification: Clinical - Histomorphometric comparison. *Clinical Oral Implants Research*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1999.100101.x>
- Tuijthof, G. J. M., Frühwirt, C., y Kment, C. (2013). Influence of tool geometry on drilling performance of cortical and trabecular bone. *Medical Engineering and Physics*, 35(8), 1165-1172. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.12.004>

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

- Underhood, A. S. (1910). An inquiry into the anatomy and pathology of of the maxillary sinus. *Journal of Anatomy and Physiology*, 44(4), 354-369.
- Updike, S. X., y Nowzari, H. (2008). Fractal analysis of dental radiographs to detect periodontitis-induced trabecular changes. *Journal of Periodontal Research*, 43(6), 658-664. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.2007.01056.x>
- van den Bergh, J. P., ten Bruggenkate, C. M., Disch, F. J., y Tuinzing, D. B. (2000). Anatomical aspects of sinus floor elevations. *Clinical Oral Implants Research*, 11, 256-265.
- Van Steenberghe, D., Callens, A., Geers, L., y Jacobs, R. (2000). The clinical use of deproteinized bovine bone mineral on bone regeneration in conjunction with immediate implant installation. *Clinical Oral Implants Research*, 11(3), 210-216. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2000.011003210.x>
- Vázquez Álvarez, R. (2014). *Factores relacionados con la pérdida ósea periimplantaria*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Vercellotti, T. (2004). Technological characteristics and clinical indications of piezoelectric bone surgery. *Minerva Stomatologica*, 53(5), 207-214.
- Von Wowern, N. (1986). Bone mass of mandibles. In vitro and in vivo analyses. *Danish medical bulletin*, 33(1), 23-44.
- Wallace, S. S., Tarnow, D. P., Froum, S. J., Cho, S.-C., Zadeh Dds, H. H., Stoupel, J., Fabbro Bsc, M. Del, y Testori, T. (2012). Maxillary sinus elevation by lateral window approach: evolution of technology and technique. *Journal of evidence based dental practice*, 12(3), 161-171.
- Wang, P., Huang, N., Ren, J., Gong, P., Long, J., y Huang, B. (2023). Maxillary Antral Pseudocyst Drift after Osteotome Sinus Floor Elevation with Simultaneous Implant *Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos*

- Placement: A Case Report and Literature Review. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 920. <https://doi.org/10.3390/jcm12030920>
- Weibel, E. R. (1991). Fractal geometry: a design principle for living organisms. *The American Journal of Physiology*, 261(6), 361-369. www.physiology.org/journal/ajplung
- Wennerberg, A., y Albrektsson, T. (2009). Effects of titanium surface topography on bone integration: A systematic review. En *Clinical Oral Implants Research* (Vol. 20, Número SUPPL. 4, pp. 172-184). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01775.x>
- White, S., y Rudolph, D. J. (1999). Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis. *Oral Radiology and Endodontology*, 88(5), 628-635.
- White, T., y Folkers, P. (2005). *Bone biology and variation. In : The human bone manual*. Elsevier.
- Wojtowicz, A., Chaberek, S., Pirino, A., Montella, A., Bandiera, P., Kinsner, A., y Ostrowski, K. (2001). The trabecular structure of developing human mandible. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 4(3), 161-171. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0544.2001.040306.x>
- Wood, R. M., y Moore, D. L. (1988). Grafting of the maxillary sinus with intraorally harvested autogenous bone prior to implant placement. *Journal of oral and maxillofacial implants*, 3(3).
- Yeung, A. W. K., Hung, K. F., Li, D. T. S., y Leung, Y. Y. (2022). The Use of CBCT in Evaluating the Health and Pathology of the Maxillary Sinus. *Diagnostics*, 12(11), 2819. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12112819>

- Zeytinoğlu, M., İlhan, B., Dündar, N., y Boyacıoğlu, H. (2015). Fractal analysis for the assessment of trabecular peri-implant alveolar bone using panoramic radiographs. *Clinical Oral Investigations*, 19(2), 519-524. <https://doi.org/10.1007/s00784-014-1245-y>
- Zhang, Y., y Abdeldayem, M. M. (2022). Research on Resonance Properties of Semantic Wave Fractal Fractals Based on Quantitative Analysis of English Corpus. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. <https://doi.org/10.2478/amns.2022.2.0095>
- Zurbano, A., Zurbano, L., Borgues, A., y Mazorra, T. (2017). Apuntes históricos sobre implantología oral y su impacto científico y sociocultural en los estudios estomatológicos. *Edumecentro*, 9(4), 114-128. <http://scielo.sld.cu/pdf/edu/v9n4/edu09417.pdf>

VI. ÍNDICE DE FIGURAS Y

TABLAS

6. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

6.1 Índice de Figuras

Figura 1. Ligadura de piezas dentales reimplantadas con ligadura de oro (Cunha y cols., 2017)	3
Figura 2. Retrato personal de Pierre Fouchard y John Hunter, respectivamente (Hunter, 2015; Lynch y cols., 2005).....	4
Figura 3. Tipología de fresas lanceolada, helicoidales y avellanadoras, respectivamente.	8
Figura 4. Clasificación de reborde alveolar edéntulo y tipología ósea (Lindhe y cols., 2005).....	18
Figura 5. Clasificación de Misch sobre calidad ósea (Misch, 2009).....	19
Figura 6. Mapa de flujo sobre la obtención de muestra de estudio tras la aplicación de los criterios de exclusión.	53
Figura 7. Delimitación de ROI sobre imagen de maxilar y mandíbula, con descripción del tamaño(Soler-Alcaraz y cols., 2023)	54
Figura 8. Secuencia de procesamiento de imágenes para aplicar el método de White y Rudolph(Soler-Alcaraz y cols., 2023)	55
Figura 9. Secuencia de procesamiento, comenzando por imagen en 8 bits (A), umbralizada (B), binarización (C), erosión y distorsión (D) y por último obtenemos la imagen esquelizada (E).....	56
Figura 10. Comparación del cambio de la DF (pre y posquirúrgico) entre grupos de estudio ($p^* \leq 0,050$).....	60

Comparación de la dimensión fractal radiográfica periimplantaria usando la osteotomía convencional o la de baja velocidad, y análisis de la evolución de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos

Figura 11. Pared ósea de seno maxilar tras elevación de colgajo a espesor total. Tomada por el Dr. Osmundo Gilbel	66
Figura 12. protección de injerto óseo mediante membrana reabsorbible. Tomada del Dr. Osmundo Gilbel.	68
Figura 13. Selección del ángulo y área de estudio mediante el programa Qupath en una de las imágenes de estudio.	69
Figura 14. Selección de ROI correspondiente a región de injerto óseo y procesado mediante método de White y Rudolph en imágenes pre y post-carga protésica.	70

6.2 Índice de Tablas

Tabla 1 Homogeneidad de los grupos de estudio en cuanto a las características demográficas y hábitos (prueba t de Student y Pearson χ^2).	57
Tabla 2. Distribución de implantes	59
Tabla 3. DF prequirúrgica y posquirúrgica en grupos de estudio T-test.	60
Tabla 4. Características de la población de estudio	72
Tabla 5. Distribución de implantes	73
Tabla 6. Características de la elevación de seno maxilar.	74
Tabla 7. Cambios en el área del biomaterial sobre el ápice del implante y DF entre el día 0 y 1 año después de la carga protésica	75

VII. ANEXOS

7. ANEXOS

Anexo 1. Publicación de Estudio 1 en revista científica.



Article

Evaluation of Change in Radiographic Fractal Dimension around Dental Implants Placed with Low-Speed Drilling and Standard Drilling Protocols

Sofía Soler-Alcaraz ¹, Yolanda Guerrero-Sánchez ^{2,*}, Mario Pérez-Sayáns ³, Juan Carlos Bernabeu-Mira ⁴, David Peñarrocha-Oltra ⁴ and Fabio Camacho-Alonso ¹

¹ Department of Oral Surgery, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain

² Department of Human Anatomy and Psicobiology, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain

³ Health Research Institute Foundation of Santiago (FIDIS) (ORALRES Group) Oral Medicine, Oral Surgery and Implantology Unit, Faculty of Medicine and Dentistry, University of Santiago de Compostela (MedOralRes Group), 15782 Santiago de Compostela, Spain

⁴ Oral Surgery Unit, Department of Stomatology, Faculty of Medicine and Dentistry, University of Valencia, Gascó Oliag 1, 46010 Valencia, Spain

* Correspondence: yolanda.guerrerros@um.es

Abstract: Osseointegration is a process that depends on a multitude of factors, including the type of drilling, whether biological or conventional. Objective: Establish box-counting dimension values for radiological images in patients with implants placed with both drilling methods. Material and method: The sample included 129 implants corresponding to 50 patients. A double-blind study of data collection was carried out with the subsequent analysis of the fractal dimension as a comparative value of the state of the trabecular architecture. Results: We found no significant differences ($p \geq 0.05$) between the two study groups comparing both drilling techniques. The values for the conventional drilling technique are 0.24 ± 0.07 and for biological drilling: 0.19 ± 0.11 with a p -value of 0.767. Conclusions: The drilling technique does not influence the success of the procedure and the osseointegration process.

Keywords: fractal dimension; bone trabeculation; bone density; dental implantology; cone beam computed tomography; orthopantomography



Citation: Soler-Alcaraz, S.; Guerrero-Sánchez, Y.; Pérez-Sayáns, M.; Bernabeu-Mira, J.C.; Peñarrocha-Oltra, D.; Camacho-Alonso, F. Evaluation of Change in Radiographic Fractal Dimension around Dental Implants Placed with Low-Speed Drilling and Standard Drilling Protocols. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 2244. <https://doi.org/10.3390/jcm12062244>

Academic Editor: Frauke Müller

Received: 4 February 2023

Revised: 10 March 2023

Accepted: 10 March 2023

Published: 14 March 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The alveolar bone itself has a high turnover rate throughout life, being dependent on multiple factors. This evolution over the years translates into a formation of new bone when the masticatory function increases and a decrease when it is smaller [1]. At the same time, external factors such as smoking or systemic internal factors such as diabetes can lead to changes in the alveolar bone. In the same way, after an implant surgery, a bone remodeling known as osseointegration takes place, which will constitute a direct relationship between bone and implant, lacking periodontal tissue. The phases of this process are:

- Osteoconduction: phase in which a bed of connective tissue and blood coagulation appears around the implant, which will mature over time into granulation tissue.
- Modeling: osteoclasts begin to appear, gradually reabsorbing the avascular bone. At the same time, the connective tissue rich in vessels will mature forming an osteoid that will form the reticular bone.
- Remodeling: the reticular bone is replaced by lamellar bone and bone marrow, with the intervention of osteoclasts. By the eighth week, all the original bone portions will have been replaced by new bone [2].

Oral implantology is one of the dental sciences that has had the greatest impact and evolution for the oral rehabilitation of patients, given its high possibilities and success in

Anexo 2. Documento del Comité de Bioética

UNIVERSIDAD DE
MURCIAVicerrectorado de Investigación
e InternacionalizaciónComisión de
Ética de
Investigación**INFORME DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN
DE LA
UNIVERSIDAD DE MURCIA**

Jaime Peris Riera, Catedrático de Universidad y Secretario de la Comisión de
Ética de Investigación de la Universidad de Murcia,

CERTIFICA:

Que D. Fabio Camacho Alonso ha presentado la memoria de trabajo del
Proyecto de Investigación titulado *“Comparación de la dimensión fractal
radiográfica periimplantaria usando la ostectomía convencional o la de baja
velocidad y análisis de la dimensión fractal en los biomateriales utilizados en
elevaciones sinusales e implantes dentales inmediatos”* a la Comisión de Ética
de Investigación de la Universidad de Murcia.

Que dicha Comisión analizó toda la documentación presentada, y de
conformidad con lo acordado el día quince de marzo de dos mil veintiuno, por
unanimidad, se emite INFORME FAVORABLE, desde el punto de vista ético de
la investigación.

Y para que conste y tenga los efectos que correspondan firmo esta certificación
con el visto bueno de la Presidenta de la Comisión.

Vº Bº
LA PRESIDENTA DE LA COMISIÓN
DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD DE MURCIA

Fdo.: María Senena Corbalán García

ID: 3203/2021

Firmante: JAIME MIGUEL PERIS RIERA. Fecha-hora: 15/04/2021 13:09:06. Emisor del certificado: CN=AC FNMT Usarios.OU=Comis.Ética.FNMT.ROM.C=ES.
Firmante: MARIA SENENA CORBALÁN GARCÍA. Fecha-hora: 15/04/2021 13:34:03. Emisor del certificado: CN=AC FNMT Usarios.OU=Comis.Ética.FNMT.ROM.C=ES.



Código seguro de verificación: RUXFMigd-Z4WgARTO-Bb8XBpC4-LH+jrgo4

COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1

Nota: es una copia auténtica imprimible de un documento administrativo electrónico archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2015, de 1 de octubre. Su autenticidad puede ser contrastada a través de la siguiente dirección: <https://sede.um.es/validador/>

Anexo 3. Justificante de participación en congreso

**DÑA. M^a CONCEPCIÓN MARTÍNEZ-ESPARZA ALVARGONZÁLEZ,
VICEDECANA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN DE LA FACULTAD DE
MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA**

HACE CONSTAR QUE:

D/Dña SOFÍA SOLER ALCARAZ, con D.N.I. Nº **493339158H**, ha seguido con asiduidad y aprovechamiento el **II CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN BIOSANITARIA PARA JÓVENES INVESTIGADORES**, organizado por FACULTAD DE MEDICINA, del 15 al 16 de septiembre de 2022, participando en un total de 12.25 horas.

Murcia, a 10 de octubre de 2022

Firmado digitalmente por:

M^a Concepción Martínez-Esparza Alvargonzález
Directora del CIBJI 2022



**II CONGRESO INTERNACIONAL
de Investigación Biosanitaria
para Jóvenes Investigadores**

Firmante: MARIA CONCEPCION MARTINEZ ESPARZA ALVARGONZALEZ - Fecha: 10/10/2022 12:48:23 - Email del emisor: ORES-CAJACCI@UNIMURCIA.ES - CAJACCI-2022



Código seguro de verificación: RUXFMvMk-GCpogvYY-DK0b9kGG-iqcJNica

COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento administrativo electrónico archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2015, de 1 de octubre. Su autenticidad puede ser contrastada a través de la siguiente dirección: <https://sede.un.es/validador/>

Anexo 4. Otros documentos de interés



