

Maestría en Implantología Oral.

**“Implantes de Zirconia VS Implantes de Titanio:
Parámetros clínicos, radiográficos y de estabilidad”.**



Maestrando: Martín Villagra Abate

Director: Ezequiel Escudero Giacchella

Ciudad de La Plata, 2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a mi compañera de vida, Marcela, a mis hijos, Clara y Baltazar. Ustedes son el motor de mi existencia, el motivo por el cual todo tiene sentido.

Agradezco con todo mi corazón a Nina, Migue y Beté quienes, con sus valores y amor, hicieron de mi infancia una etapa plena y feliz. También a mis hermanos Sebastián, Vanesa, Betiana, Lucrecia y Augusto, juntos somos uno.

Nacho y Javier completan todo.

Gratitud eterna a mi director de tesis, el Dr. Ezequiel Escudero Giacchella, por compartir generosamente sus conocimientos, su guía y su amistad, pilares fundamentales en este recorrido.

A la Facultad de Odontología, gracias por tantos años de aprendizaje, experiencias y vínculos que han dejado una marca imborrable en mi vida profesional y personal.

A Diego Bechelli, mi referente y amigo, no tengo palabras suficientes para agradecer tus enseñanzas, tu generosidad y tus consejos, siempre llenos de sabiduría y calidez.

Finalmente, a mi madre, Liliana, ejemplo inigualable de docencia, profesionalismo y honestidad. Gracias por darme la vida, por tu apoyo constante y por enseñarme, cada día, el verdadero significado de la dedicación y el amor incondicional.

RESUMEN

Este estudio se enmarca en la creciente demanda de soluciones funcionales, estéticas y biocompatibles para la rehabilitación dental mediante implantes. La problemática se centró en evaluar comparativamente los dos materiales más utilizados en implantología: titanio y zirconia. Mientras el titanio es ampliamente reconocido por su resistencia mecánica y osteointegración eficiente, enfrenta limitaciones estéticas y posibles reacciones adversas en ciertos pacientes. Por otro lado, la zirconia destaca por sus ventajas estéticas y su biocompatibilidad superior, pero requiere una evaluación más detallada para validar su durabilidad y desempeño clínico en el largo plazo. El estudio, realizado con una perspectiva correlacional-comparativa y un método cuantitativo, se realizó en el marco de una clínica privada. Se trataron a pacientes elegidos bajo rigurosos criterios de inclusión con implantes de titanio y zirconia. Mediante evaluaciones clínicas y radiográficas llevadas a cabo en periodos de tiempo establecidos, se recolectaron datos mediante dispositivos sofisticados como Osstell y Periotest, que posibilitaron la medición de la estabilidad primaria, la osteointegración y la movilidad de los implantes. La evaluación estadística, llevada a cabo en MATLAB, contempló ensayos de normalidad, ANOVA y correlación para asegurar la solidez de los hallazgos. Los descubrimientos mostraron variaciones notables en las mediciones de Osstell con el transcurso del tiempo, lo que señala un avance gradual en la estabilidad de los implantes a medida que pasa el tiempo, mientras que las mediciones de Periotest permanecieron estables. Pese a que ambos materiales alcanzaron grados apropiados de estabilidad y osteointegración, no se detectaron discrepancias notables entre ambos en algunas variables fundamentales. Los implantes de zirconia se distinguieron por su estética y su excelente interacción con tejidos blandos, disminuyendo el peligro de inflamación y optimizando la aceptación visual en pacientes con biotipos de gingivales finos. Por su parte, el titanio mostró un desempeño superior bajo condiciones de alta carga masticatoria debido a su mayor resistencia mecánica. A pesar de los resultados alentadores, es crucial señalar que la muestra fue de tamaño reducido, lo que restringe la extrapolación de los descubrimientos. Este análisis propone que ambos materiales son opciones factibles, cuya elección debe basarse en las particularidades y requerimientos del paciente. En situaciones en las que se prioriza la estética, la zirconia se presenta como una opción apropiada, mientras que el titanio continúa siendo más adecuado para pacientes con elevadas exigencias funcionales o cargas masticatorias considerables. Es importante continuar con estudios adicionales que incluyan muestras más amplias y escenarios clínicos variados. La implementación de un enfoque individualizado en implantología, respaldado por evidencia científica y un monitoreo clínico adecuado, es clave para optimizar el éxito del tratamiento y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Palabras clave: Implantes, Zirconia, Titanio, Rx, estabilidad.

ABSTRACT

This study is part of the growing demand for functional, aesthetic and biocompatible solutions for dental rehabilitation using implants. The problem focused on comparatively evaluating the two most used materials in implantology: titanium and zirconia. While titanium is widely recognized for its mechanical strength and efficient osseointegration, it faces aesthetic limitations and possible adverse reactions in certain patients. On the other hand, zirconia stands out for its aesthetic advantages and superior biocompatibility, but requires a more detailed evaluation to validate its durability and long-term clinical performance. The study, carried out with a correlational-comparative perspective and a quantitative method, was carried out in the framework of a private clinic. Patients chosen under rigorous inclusion criteria were treated with titanium and zirconia implants. Through clinical and radiographic evaluations carried out in established time periods, data were collected using sophisticated devices such as Osstell and Periotest, which made it possible to measure primary stability, osseointegration and mobility of the implants. The statistical evaluation, carried out in MATLAB, included normality, ANOVA and correlation tests to ensure the robustness of the findings. The findings showed notable variations in Osstell measurements over time, pointing to a gradual advancement in implant stability over time, while Periotest measurements remained stable. Although both materials achieved appropriate degrees of stability and osseointegration, no notable discrepancies were detected between them in some fundamental variables. Zirconia implants were distinguished by their aesthetics and excellent interaction with soft tissues, reducing the risk of inflammation and optimizing visual acceptance in patients with thin gingival biotypes. For its part, titanium showed superior performance under conditions of high chewing load due to its greater mechanical resistance. Despite the encouraging results, it is crucial to note that the sample size was small, which restricts extrapolation of the findings. This analysis proposes that both materials are feasible options, whose choice should be based on the particularities and requirements of the patient. In situations where aesthetics is prioritized, zirconia is presented as an appropriate option, while titanium continues to be more suitable for patients with high functional demands or considerable chewing loads. It is important to continue with additional studies that include larger samples and varied clinical settings. The implementation of an individualized approach in implantology, supported by scientific evidence and adequate clinical monitoring, is key to optimizing treatment success and improving patients' quality of life.

Keywords: Implants, Zirconia, Titanium, Rx, stability.

INDICE

TEMA	PÁGINA
1- INTRODUCCIÓN	1
2- MARCO TEÓRICO	2
2.1- Conceptos fundamentales	2
2.1.1- Definición de implante dental y su función	2
2.1.2- Materiales comunes en implantología	2
2.2- Implantes de Titanio	3
2.2.1- Propiedades físicas y mecánicas	3
2.2.2- Procesos de oseointegración	4
2.2.3- Importancia del equilibrio biomecánico en la remodelación	6
2.2.4- Desventajas y limitaciones	12
2.3- Zirconia como material de implantes	13
2.3.1- Origen y evolución de la Zirconia en implantología	13
2.3.2- Propiedades físicas y ventajas mecánicas	13
2.3.3- Biocompatibilidad de la Zirconia y su impacto en la salud del tejido periimplantario.	14
2.3.4- Comportamiento óptico y ventajas estéticas	14
2.4- Comparación entre Titanio y Zirconia	15
2.4.1- Resistencia a fracturas y a cargas masticatorias	15
2.4.2- Evaluación de la biocompatibilidad y su influencia en la oseointegración	16
2.4.3- Factores estéticos y aceptación del paciente	17
2.4.4- Desgaste y durabilidad a largo plazo	18
3- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
4- JUSTIFICACION	23
5- HIPÓTESIS	24
6- OBJETIVOS	24
6.1- Objetivo general	24
6.2- Objetivos específicos	24
7- MATERIALES Y MÉTODOS	25
7.1- Orientación y diseño de la investigación	25
7.2- Población y muestra	25
7.2.1- Criterios de inclusión	25
7.2.2- Criterios de exclusión	26
7.2.3- Criterios de eliminación	26
7.3- Materiales	27
7.3.1- Implantes dentales	27
7.3.2- Escáneres intraorales	28
7.3.3- impresoras 3D	29
7.3.4- Instrumentos y accesorios	30
7.3.5- Sistemas de medición de estabilidad	31
7.3.6- Rehabilitación protésica	32
7.3.7- Software de planificación	33
7.4- Métodos	34
7.4.1- Selección de pacientes	34
7.4.2- Protocolo de colocación de implantes	34
7.4.3- Rehabilitación protésica	35
7.4.4- Evaluación clínica y radiográfica	36
7.4.5- Educación al paciente	37
7.4.6- Análisis estadístico	38
8- ASPECTOS ETICOS DEL ESTUDIO	40

9- RESULTADOS	41
9.1- Evaluación clínica y radiográfica de la estabilidad y oseointegración de los implantes	41
9.2- Análisis estadístico	43
10- DISCUSIÓN	45
11- CONCLUSIONES	46
12- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
13- ANEXO	56

1- Introducción

La implantología dental moderna surge como una solución eficaz y duradera para el tratamiento de pacientes con edentulismo, ya sea único o múltiple (Elaskary, 2019). Desde su inicio, esta práctica ha revolucionado la odontología al ofrecer una opción rehabilitadora que sustituye de forma funcional y estética las piezas dentarias perdidas, sin depender de estructuras contiguas para su soporte (Porenczuk & Gorski, 2021). Las primeras investigaciones de oseointegración, realizadas por el cirujano Branemark en las décadas de 1950 y 1960, evidenciaron que algunos materiales, como el titanio, pueden unirse al hueso de forma segura y estable a través del desarrollo de osteoblastos en su superficie (Branemark, 1977). Este suceso permitió la creación de una relación estructural y funcional entre el hueso y el implante, transformándose en el fundamento de la implantología contemporánea y dando paso a los implantes de titanio como una de las alternativas más seguras y verificadas para la rehabilitación dental (Resnik, 2020).

Pese a su eficacia en la práctica clínica, los implantes de titanio tienen restricciones importantes que impactan tanto en la estética como en la biocompatibilidad en determinados pacientes (Jaber et al., 2024). Los principales inconvenientes incluyen reacciones alérgicas o sucesos adversos en un pequeño porcentaje de pacientes, así como la probabilidad de una integración deficiente con el tejido epitelial alrededor, lo que podría provocar hipersensibilización celular y la generación de corrientes galvánicas (Poli et al., 2021). Estéticamente, el titanio presenta el inconveniente de un tono grisáceo que puede ser visible en pacientes con biotipos gingivales finos, afectando negativamente el resultado visual en tratamientos donde la apariencia es crítica. Adicionalmente, el titanio es susceptible al desgaste cuando entra en contacto con ciertas aleaciones metálicas o agentes como el flúor, lo cual puede reducir su durabilidad y aumentar el riesgo de complicaciones a largo plazo (Romanos et al., 2021).

Por los retos estéticos y de biocompatibilidad vinculados con el titanio, se ha explorado la posibilidad de utilizar otros materiales que ofrezcan mejores resultados, tanto en términos visuales como funcionales. En estas circunstancias, la zirconia (óxido tetragonal de zirconio estabilizado con itrio, Y-TZP) se ha presentado como un material alternativo con características sumamente prometedoras (Aladawi et al., 2023). Su biocompatibilidad elevada facilita una integración más positiva con los tejidos bucales, minimizando la probabilidad de reacciones negativas y controlando la adhesión bacteriana, lo que reduce la probabilidad de inflamaciones periimplantarias. Además, su color

blanco natural representa una ventaja estética significativa, particularmente en casos donde la línea de la encía es visible (Maminskas et al., 2020). A nivel mecánico, la zirconia ofrece alta resistencia a fracturas, flexión y desgaste, cualidades que la hacen viable para soportar las fuerzas masticatorias en el largo plazo, ofreciendo a los pacientes una alternativa al titanio que no solo satisface las expectativas funcionales, sino también las estéticas (Choi et al., 2023).

2. Marco Teórico

2.1. Conceptos Fundamentales

En el campo de la implantología oral, los conceptos esenciales incluyen las definiciones y fundamentos que respaldan el diseño y funcionamiento de los implantes, además de los materiales empleados en su producción. Para garantizar la efectividad de los implantes, es esencial elegir materiales que proporcionen una biocompatibilidad apropiada, resistencia mecánica y durabilidad. Los materiales más empleados incluyen metales, cerámicas, polímeros y composites, todos ellos con propiedades particulares que satisfacen las demandas clínicas de los pacientes.

2.1.1. Definición de implante dental y su función

Un implante dental es un dispositivo que actúa como sustituto artificial de la raíz de un diente perdido, instalado quirúrgicamente en el maxilar o la mandíbula. La función principal de los implantes es proporcionar un soporte estable y duradero para prótesis dentales, tales como coronas, puentes o prótesis completas. En contraste con las prótesis tradicionales, los implantes no requieren la fijación de dientes cercanos para su adhesión, asegurando así una mayor estabilidad y durabilidad en la rehabilitación bucal (Prados-Privado et al., 2020). La colocación de un implante promueve el proceso de oseointegración, donde el hueso alrededor se une fuertemente al implante, generando una conexión sólida y resistente a las fuerzas masticatorias. Este procedimiento posibilita que el implante opere de forma parecida a la de una raíz dental natural, proporcionando una funcionalidad y apariencia muy similares a las de un diente auténtico (Dorsam et al., 2020).

2.1.2. Materiales comunes en implantología

Para cumplir con los estándares mecánicos, estéticos y de biocompatibilidad que exige el entorno bucal, los materiales utilizados para la fabricación de implantes dentales han sufrido una gran evolución. En la actualidad los más empleados son:

- **Metales:** El titanio y sus aleaciones se utilizan extensamente debido a su habilidad para oseointegrar, su resistencia a la corrosión y sus ventajas mecánicas. No obstante, su tonalidad gris metálica tiene restricciones estéticas y hay una reducida frecuencia de reacciones adversas en ciertos pacientes (Saha & Roy, 2022).
- **Cerámicas:** La zirconia estabilizada con óxido de itrio (Y-TZP) es una de las cerámicas más utilizadas, debido a su excelente biocompatibilidad, resistencia a la fractura y su color blanco natural, que se asemeja a la tonalidad de un diente, mejorando el resultado estético en comparación con el titanio (Hu et al., 2020).
- **Polímeros:** A pesar de ser menos habituales en el cuerpo del implante, los polímeros pueden emplearse como elementos extra en los sistemas implantológicos, aprovechando su adaptabilidad en ciertas aplicaciones (Abouchenari et al., 2024).
- **Composites:** Son materiales que fusionan dos o más etapas para potenciar características mecánicas particulares. No obstante, su aplicación en la implantología es restringida debido a los altos requerimientos de resistencia y durabilidad que demandan los implantes dentales en el ambiente bucal (Aladapo et al., 2022).

2.2. Implantes de Titanio

Los implantes de titanio son altamente valorados en odontología por su resistencia, biocompatibilidad y capacidad de integración ósea, características que los hacen ideales para soportar cargas masticatorias en rehabilitación oral. Sin embargo, presentan desafíos estéticos y ocasionales reacciones adversas en ciertos pacientes. A continuación, se describen sus propiedades, el proceso de oseointegración y sus principales limitaciones.

2.2.1. Propiedades físicas y mecánicas

El titanio y sus aleaciones se utilizan extensamente en la implantología dental gracias a sus notables características físicas y mecánicas. Estos materiales son de peso reducido, tienen una gran resistencia a la tracción, son biocompatibles y exhiben una magnífica resistencia a la corrosión, particularmente en el entorno húmedo y ácido de la cavidad bucal (Neto et al., 2024). El titanio también se distingue por su habilidad para generar una capa de óxido en su superficie, lo que favorece la oseointegración, posibilitando que el hueso se forme en el implante. Esta característica hace que el titanio sea una alternativa segura y duradera, particularmente en usos que necesitan resistir cargas masticatorias altas durante extensos periodos de tiempo (Pandey et al., 2022).

2.2.2. Proceso de oseointegración

La oseointegración es un fenómeno biológico clave en el éxito de los implantes dentales, definido como la formación de una conexión directa y funcional entre el hueso vivo y la superficie de un implante. Este proceso fue descubierto y descrito por el Dr. Per-Ingvar Brånemark en la década de 1960, y desde entonces se ha convertido en el fundamento de la implantología moderna (Sharma et al., 2024).

El procedimiento de oseointegración se realiza en diversas etapas que comprenden sucesos celulares, moleculares y mecánicos que finalizan con la estabilización del implante. Este fenómeno facilita la integración sólida del implante de titanio en el hueso, consiguiendo una estabilidad crucial para soportar las cargas funcionales del procedimiento de masticación (Agarwal et al., 2024).

2.2.2.1. Fase de Hemostasia e Inflamación Inicial

Tras la inserción quirúrgica del implante, el trauma en el tejido óseo desencadena una respuesta inflamatoria inmediata. Este proceso es crítico para la limpieza inicial de la zona y el inicio de la regeneración ósea. En el sitio quirúrgico, los vasos sanguíneos dañados liberan plaquetas, que activan la coagulación y forman un coágulo de sangre alrededor del implante (Xiao et al., 2022). Este coágulo no solo detiene el sangrado, sino que también actúa como un reservorio de factores de crecimiento esenciales, como el PDGF (factor de crecimiento derivado de plaquetas), el TGF- β (factor de crecimiento transformante beta) y el VEGF (factor de crecimiento endotelial vascular) (Terheyden et al., 2012).

Estos elementos impulsan la quimiotaxis de células inflamatorias como neutrófilos y macrófagos hacia el lugar del implante, iniciando la etapa de inflamación. Los neutrófilos expulsan residuos celulares y posibles microorganismos, en cambio, los macrófagos liberan citoquinas proinflamatorias como IL-1 y TNF- α , que promueven la proliferación celular y la creación de nuevos vasos sanguíneos (angiogénesis). Esta etapa crea el entorno apropiado para el comienzo del proceso de restauración ósea (Gurkan et al., 2019).

2.2.2.2. Fase de Formación de Tejido de Granulación

En esta segunda fase, el coágulo sanguíneo se transforma gradualmente en tejido de granulación, un tejido conectivo temporal que sirve como puente entre el hueso circundante y el implante. Este tejido está compuesto principalmente

por fibroblastos, fibras de colágeno tipo III y vasos sanguíneos recién formados, resultado de la angiogénesis iniciada en la fase anterior (Cintra et al., 2021).

Los fibroblastos se dirigen al área dañada e inician la síntesis de colágeno y matriz extracelular, brindando apoyo estructural a las células osteoprogenitoras. Estas células precursoras se transforman en osteoblastos, que resultan cruciales para el comienzo del desarrollo de los huesos (Albrektsson et al., 2023). Al mismo tiempo, los nuevos vasos sanguíneos garantizan el abastecimiento constante de oxígeno, nutrientes y factores de crecimiento al lugar del implante. Este entorno abundante en células y elementos bioquímicos genera las condiciones requeridas para iniciar el proceso de osteogénesis (Pandey et al., 2022).

2.2.2.3. Fase de Osteogénesis y Formación de Hueso Primario

La osteogénesis es el proceso mediante el cual se forma hueso nuevo. Esta fase comienza con la diferenciación de células osteoprogenitoras en osteoblastos, que depositan matriz ósea alrededor del implante. En el caso de los implantes de titanio, su superficie rugosa y su capa de óxido natural ofrecen un microentorno óptimo para la adhesión celular. La rugosidad aumenta el área superficial, permitiendo una mayor deposición de hidroxiapatita, el principal componente mineral del hueso (Ferretti & Palumbo, 2021).

El colágeno tipo I y las proteínas no colágenas como la osteocalcina y la osteopontina, que ayudan a la nucleación de los cristales de hidroxiapatita, son producidas por los osteoblastos. A diferencia del hueso maduro, esta sustancia mineralizada crea hueso primario, también conocido como hueso inmaduro, que tiene una estructura trabecular desorganizada y una menor resistencia mecánica. La estabilidad inicial, que es vital en las primeras semanas posteriores a la cirugía, la proporciona la íntima conexión entre el implante y el hueso nativo (García et al., 2022).

2.2.2.4. Fase de Remodelación y Maduración Ósea

En esta última fase, el hueso primario es gradualmente reemplazado por hueso laminar maduro, que tiene una mayor organización estructural y resistencia mecánica. Este proceso es mediado por la interacción coordinada de osteoblastos (responsables de la formación ósea) y osteoclastos (encargados de la resorción ósea) (Cui et al., 2021).

La reestructuración ósea sucede como reacción a las fuerzas funcionales que se aplican al implante. Los osteocitos en el hueso alrededor son estimulados por las cargas masticatorias, las cuales transmiten señales mecánicas a los osteoblastos y osteoclastos para remodelar el hueso y ajustarlo a las necesidades funcionales. Este procedimiento garantiza un reparto homogéneo de las cargas a través del implante y evita el estrés específico que podría provocar microfracturas o el aflojamiento de este (Alfaraj et al., 2023).

En esta fase, el hueso forma una estructura dispuesta en láminas concéntricas alrededor de los canales vasculares, constituyendo las osteonas, la unidad funcional del hueso compacto. Este hueso laminar ofrece un vínculo mecánicamente sólido y perdurable entre el implante y el hueso adyacentes, asegurando la estabilidad duradera del implante dental (Ripszky Total et al., 2022).

2.2.3. Importancia del Equilibrio Biomecánico en la Remodelación

La remodelación ósea es un proceso dinámico y continuo que se ve fuertemente influenciado por factores biomecánicos. El equilibrio adecuado entre las fuerzas mecánicas aplicadas al implante y la capacidad del hueso circundante para adaptarse a dichas fuerzas es esencial para garantizar la estabilidad y funcionalidad a largo plazo del implante dental (Liu et al., 2020).

El hueso es un tejido flexible que reacciona a los estímulos mecánicos a través de un procedimiento denominado mecanotransducción, en el que los osteocitos funcionan como receptores de las fuerzas ejercidas. Si las cargas funcionales se encuentran dentro de un margen fisiológico, se fomenta la formación de huesos y se fortalece la conexión entre el implante y el hueso. No obstante, si las fuerzas mecánicas resultan excesivas o insuficientes, pueden presentarse dificultades: sobrecarga mecánica y falta de carga funcional (Roberts, 2020).

Se produce la sobrecarga mecánica cuando las tensiones ejercidas sobre el implante exceden la capacidad de adaptación del hueso que lo rodea. Estas fuerzas desmedidas, que pueden surgir debido a una oclusión inadecuada, una prótesis incorrectamente ajustada o costumbres parafuncionales como el bruxismo, causan un estrés desmedido en el tejido óseo. Este estrés puede provocar microfracturas en el hueso, particularmente en la zona periimplantaria donde la densidad de los huesos puede ser reducida (Melo-Fonseca et al., 2020).

Las microfracturas provocan un proceso acelerado de resorción ósea como mecanismo de reparación, dado que el hueso busca eliminar las zonas lesionadas para recuperarse. No obstante, si no se ajustan las fuerzas continuas, el hueso alrededor entra en un ciclo de resorción gradual, deteriorando la estructura que sostiene el implante (Camal Ruggieri et al., 2021). Este procedimiento puede causar el movimiento del implante, dado que reduce la estabilidad secundaria adquirida durante el proceso de oseointegración. Si no se trata oportunamente, la sobrecarga mecánica puede resultar en el fracaso absoluto del implante, necesitando su eliminación y, en numerosas situaciones, procedimientos extra como injertos óseos para recuperar la zona perjudicada (Papachristou et al., 2021).

Por el contrario, la falta de carga funcional sobre un implante puede tener efectos igualmente perjudiciales. El hueso, como tejido dinámico, requiere estímulos mecánicos constantes para mantener su densidad y volumen a través del proceso de remodelación ósea (Wang et al., 2024). Este fenómeno, conocido como mecanotransducción, implica que las células óseas, como los osteocitos, perciban las fuerzas mecánicas y desencadenen señales que estimulen la formación y mantenimiento del hueso (Wood et al., 2023).

La atrofia ósea por desuso puede producirse si no existe una carga funcional porque el hueso circundante no recibe la estimulación necesaria. La capacidad del hueso para sostener adecuadamente el implante se ve disminuida por esta condición, que implica una pérdida progresiva de volumen y densidad ósea (Deng et al., 2024). La atrofia ósea puede poner en peligro tanto la estabilidad primaria como la secundaria a largo plazo, y por lo tanto, la capacidad del implante para funcionar (Hoellwarth et al., 2023).

Los dos extremos, la sobrecarga y la ausencia de carga funcional, son relevantes para un correcto equilibrio biomecánico. En el ámbito clínico, esto demanda un enfoque meticuloso para mejorar las fuerzas que influyen en el implante, donde se incluyen:

1. Diseño Adecuado de la Prótesis:

El diseño de la prótesis implantosoportada es un elemento crucial para el éxito del tratamiento, puesto que impacta directamente en cómo se reparten las fuerzas masticatorias sobre el implante y el hueso que lo rodea. Una prótesis deficiente en su diseño puede provocar puntos de presión excesiva en zonas concretas del implante, lo que aumenta la probabilidad de microfracturas óseas y sobrecarga mecánica. Para prevenir esto, el diseño debe asegurar un reparto

homogéneo de las fuerzas funcionales y reducir los movimientos indeseables (Dobrzanski & Dobrzanski, 2020).

Un ajuste preciso es fundamental para el éxito de la prótesis implantosoportada. La prótesis debe encajar perfectamente en el implante, asegurando una conexión firme que elimine cualquier micromovimiento. Estos micromovimientos pueden comprometer la estabilidad del implante, interrumpir la oseointegración y, en casos más severos, generar inflamación o fallos en la conexión entre el implante y el hueso circundante (Salier et al., 2022).

El balance oclusal también es un elemento importante. Es necesario que las fuerzas masticatorias se repartan de forma homogénea entre los implantes y los dientes naturales. Esto garantiza que ningún implante individual resista pesos excesivos que puedan causar tensión local en el hueso periimplantario o incluso microfracturas en la estructura del implante. Un diseño correcto de la prótesis contribuye a conservar este balance, manteniendo la funcionalidad y durabilidad del implante (Nitschke et al., 2021).

Además, es fundamental la selección de los materiales para la prótesis. Estos materiales deben tener la capacidad de resistir las fuerzas masticatorias cotidianas, asegurando así la duración de la prótesis. No obstante, también deben tener un nivel de elasticidad apropiado que pueda absorber parte del impacto masticatorio, disminuyendo de esta manera el estrés tanto en el implante como en el hueso circundante. Esta mezcla de resistencia y flexibilidad aporta considerablemente a la estabilidad a largo plazo del sistema que sostiene el implante (Avetisyan et al., 2021).

2. Manejo de Hábitos Parafuncionales

En implantología oral, los comportamientos parafuncionales como apretar los dientes o el bruxismo suponen un problema significativo. La estabilidad y la eficacia de los implantes y del hueso circundante pueden verse comprometidas por estas actividades involuntarias, que producen tensiones no fisiológicas superiores a su capacidad de adaptación. Las elevadas fuerzas de estos comportamientos tienen el potencial de acelerar la degradación de la prótesis, crear microfracturas en el hueso periimplantario y, en las peores situaciones, provocar fracturas del implante. Además de acortar la vida útil del implante, estos problemas también pueden provocar incomodidad en el paciente tanto funcional como estéticamente (de Souza Cavalcante et al., 2020).

Para tratar eficazmente estos hábitos, resulta imprescindible aplicar estrategias concretas de protección y tratamiento. Una de las acciones más habituales es la utilización de placas de descarga oclusal, que son aparatos diseñados a medida para cada paciente. Estas placas contribuyen a reorientar las fuerzas producidas durante el bruxismo, reduciendo su efecto en el implante y en los tejidos adyacentes. Estas placas, además de resguardar el implante, disminuyen la posibilidad de perjuicios en los dientes naturales y en las estructuras de apoyo periodontal (Gikic et al., 2021).

En los casos más graves o persistentes, puede ser necesario recurrir a terapias complementarias, como estrategias de reducción del estrés conductual, como la terapia cognitivo-conductual, técnicas de relajación e incluso ejercicios físicos que eliminen la tensión acumulada. En algunos pacientes, se pueden considerar terapias farmacológicas, como el uso de ansiolíticos o relajantes musculares, para disminuir la gravedad de los episodios de bruxismo. También se ha demostrado que la toxina botulínica tiene ventajas para reducir la activación excesiva de los músculos masetero y temporal (Agha-Hosseini et al., 2023).

Un elemento esencial en la gestión de estos hábitos es la evaluación constante. El seguimiento continuo posibilita que el equipo clínico detecte los impactos de las costumbres parafuncionales a través del tiempo, adaptando el tratamiento según se requiera. Esto implica hacer modificaciones en la prótesis para mejorar su distribución de carga, sustituir placas de descarga deterioradas o ajustar los tratamientos de acuerdo con las variaciones en la situación del paciente. Los controles regulares también facilitan la identificación temprana de posibles daños en el implante o el hueso alrededor, minimizando la posibilidad de problemas de mayor gravedad (Tijare et al., 2021).

3. Carga Progresiva

La utilización de prótesis provisionales constituyen un paso inicial esencial en el proceso de carga progresiva. Estas prótesis están diseñadas para aplicar cargas ligeras y controladas al implante durante las primeras etapas de cicatrización. Al limitar las fuerzas funcionales, las prótesis provisionales permiten que el hueso periimplantario continúe su proceso de regeneración sin comprometer la estabilidad primaria del implante. Además, estas prótesis son ajustadas cuidadosamente para evitar puntos de contacto oclusal excesivo que puedan generar micromovimientos en el implante (Pardo-Zamora et al., 2021).

Además de su función operativa, las prótesis temporales desempeñan un rol estético, incrementando notablemente la calidad de vida del paciente durante el

periodo de recuperación. Además, estas prótesis favorecen la adaptación del tejido blando alrededor, fomentando un contorno gingival positivo que optimiza el resultado final en aspectos estéticos y funcionales (Monstaporn et al., 2021).

Cuando el hueso circundante se desarrolla y la estabilidad secundaria del implante se incrementa, es posible incorporar progresivamente cargas funcionales de mayor relevancia. Este procedimiento de carga progresiva facilita que el hueso se robustezca y se reorganice correctamente, potenciando su habilidad para resistir las fuerzas masticatorias totales (Ciocan et al., 2021). Los ajustes graduales generalmente implican cambios en la prótesis provisional, incrementando progresivamente los puntos de contacto oclusal hasta que el implante pueda resistir una prótesis definitiva. Este método también considera la calidad de los huesos del paciente; en situaciones de hueso de baja densidad, el procedimiento de carga progresiva puede prolongarse por periodos más largos para asegurar una integración correcta y prevenir problemas.

El seguimiento clínico es crucial durante todo el procedimiento de carga progresiva para evaluar la reacción del hueso a las cargas aplicadas y modificar el tratamiento según sea necesario. Los exámenes clínicos para evaluar la estabilidad del implante y las exploraciones radiográficas para seguir el desarrollo de la remodelación ósea son parte de las visitas de seguimiento. Además, el seguimiento preciso de la estabilidad primaria y secundaria del implante es posible gracias a instrumentos especializados como Periotest u Osstell. Esta aparatología es esencial para detectar indicadores tempranos de pérdida de estabilidad, de modo que se puedan tomar medidas rápidas antes de que los problemas pongan en peligro la eficacia del tratamiento (Mulimani et al., 2024).

La aplicación de la carga progresiva brinda varias ventajas que favorecen el éxito del implante. Primero, impulsa la reestructuración ósea al estimular la actividad de los osteoblastos, lo que promueve la creación de nuevo hueso alrededor del implante. Además, contribuye a minimizar el peligro de exceso de carga mecánica al aplicar fuerzas de forma regulada, previniendo un estrés desmedido en el hueso periimplantario durante las fases críticas (Reda et al., 2022). Este método también potencia la estabilidad secundaria, facilitando la adaptación progresiva del hueso y ofreciendo una base para resistir cargas funcionales totales. Por último, la carga progresiva optimiza tanto los resultados funcionales como estéticos, propiciando el desarrollo de tejidos blandos saludables y contornos gingivales adecuados que favorecen la apariencia final del implante y su integración en la cavidad oral (Galindo-Moreno et al., 2022).

4. Monitoreo Regular

El éxito a largo plazo de los implantes dentales está directamente relacionado con un monitoreo regular y exhaustivo que permita identificar y abordar problemas en etapas tempranas. Este seguimiento periódico es fundamental para prevenir complicaciones como la resorción ósea, la movilidad del implante o el desgaste prematuro de la prótesis. Detectar estas complicaciones a tiempo no solo protege la funcionalidad del implante, sino que también evita tratamientos más invasivos y costosos que podrían comprometer la estabilidad a largo plazo del sistema implantosoportado (Ramseier, 2024).

Un seguimiento apropiado requiere llevar a cabo revisiones clínicas periódicas, en las que el experto verifique visualmente la condición del implante, la prótesis y los tejidos adyacentes. En estas evaluaciones, se valora la integridad de la prótesis, se busca la presencia de inflamación o indicios de infección en los tejidos periimplantarios y se comprueba la eficacia oclusal. Estas pruebas posibilitan identificar variaciones o irregularidades que podrían ser señales precoces de problemas más graves (Impellizzeri et al., 2020).

Las radiografías son una herramienta de control esencial, además de los exámenes clínicos. La cantidad y la calidad del hueso que rodea al implante se pueden evaluar mediante radiografía periapical o imágenes de TC (tomografía computada) de alta resolución. Estos métodos ayudan a detectar indicios de reabsorción ósea, inestabilidad o mala posición del implante que pueden requerir tratamiento. Para realizar un seguimiento de la incorporación del implante al hueso y su desarrollo a lo largo del tiempo, el examen radiográfico también es fundamental (Kuhnisch et al., 2020).

El uso de pruebas de estabilidad del implante complementa el monitoreo clínico y radiográfico. Dispositivos como el Periotest o el Osstell permiten medir de manera objetiva la estabilidad primaria y secundaria del implante, utilizando tecnología de vibración o resonancia magnética. Estas mediciones son cruciales para detectar cualquier disminución en la estabilidad antes de que sea perceptible mediante otros métodos, lo que brinda la oportunidad de tomar medidas preventivas (Putra et al., 2022).

Otro elemento crucial del seguimiento es la evaluación de las costumbres del paciente. Es importante comprobar que el paciente respete las sugerencias postoperatorias, como la utilización constante de placas de descarga en caso de bruxismo, además de mantener una correcta higiene bucal. Hábitos incorrectos, tales como una mala higiene o la falta de uso de dispositivos de protección,

pueden acelerar el deterioro del implante y elevar la probabilidad de complicaciones (Panetta et al., 2021).

Más allá de identificar problemas, el monitoreo regular fortalece la relación entre el odontólogo y el paciente. Estas visitas periódicas fomentan un compromiso mutuo hacia el mantenimiento del implante, ya que el paciente se siente acompañado y guiado en el cuidado de su tratamiento. Esto no solo mejora los resultados clínicos, sino que también incrementa la satisfacción del paciente y su confianza en el profesional. En definitiva, un monitoreo constante y multidimensional asegura la duración del implante y optimiza los resultados funcionales y estéticos a largo plazo.

2.2.4. Desventajas y limitaciones

A pesar de sus numerosas ventajas, el titanio presenta ciertas limitaciones y desventajas que pueden afectar su rendimiento en implantología oral (Do et al., 2020):

- **Reacciones adversas:** A pesar de ser poco comunes, existen pacientes que muestran reacciones alérgicas o de hipersensibilidad al titanio. Estas reacciones pueden presentarse como irritación o inflamación de los tejidos circundantes al implante y, en situaciones extremas, pueden perjudicar la estabilidad de este. Se ha informado que alrededor del 0.6% de los pacientes experimentan reacciones al titanio, lo que, a pesar de ser bajo, es un elemento significativo en la elección del material.
- **Problemas estéticos:** El color gris del titanio puede ser visible en pacientes con biotipos gingivales finos, donde el tejido gingival no es suficientemente grueso para cubrir completamente el implante. Esto podría provocar sombras oscuras en la zona implantada, impactando el resultado estético, particularmente en áreas visibles, como los dientes anteriores.
- **Desgaste por flúor:** Se ha observado que el titanio puede deteriorarse en presencia de flúor, un elemento habitual en productos de higiene oral, tales como pastas dentales y colutorios. Esto puede deteriorar la superficie del implante, incrementando la posibilidad de corrosión disminuyendo su vida útil. Además, si existen ciertas aleaciones metálicas en la saliva, el desgaste del titanio puede también impactar de manera adversa en la estabilidad del implante a largo plazo.

2.3. Zirconia como Material de Implantes

La zirconia ha surgido como una opción frente al titanio en el sector de los implantes dentales, gracias a sus características estéticas y biocompatibilidad. Este cerámico brinda una respuesta eficaz a los retos vinculados a los implantes metálicos, ofreciendo un aspecto más natural y minimizando las reacciones negativas en ciertos pacientes. En las últimas décadas, la zirconia, en su versión estabilizada con itrio (Y-TZP), ha cobrado relevancia y hoy en día es reconocida como un material con propiedades ideales para la producción de implantes dentales (Qu & Liu, 2021).

2.3.1. Origen y evolución de la zirconia en implantología

El uso de zirconia en implantología comenzó a explorarse como respuesta a la demanda de materiales más estéticos y biocompatibles que el titanio. Su aplicación en odontología se desarrolló a partir de los estudios sobre cerámicas en medicina, especialmente debido a sus propiedades ópticas y su color blanco, que imita mejor el aspecto de los dientes naturales. En las últimas décadas, la investigación sobre la zirconia se ha enfocado en mejorar su resistencia y adaptabilidad en entornos bucales. Por lo tanto, la zirconia estabilizada con óxido de itrio (Y-TZP) ha probado ser apropiada para usos dentales, proporcionando beneficios tanto estéticos como funcionales, lo que ha impulsado su aplicación en varias prácticas de odontología (Lorusso et al., 2020).

2.3.2. Propiedades físicas y ventajas mecánicas

La zirconia es un material famoso por su elevada capacidad de resistir la flexión, la corrosión y el desgaste, aspectos vitales en el ambiente bucal. Su resistencia a la flexión le otorga la capacidad de resistir fuerzas masticatorias elevadas sin romperse, un atributo similar al del titanio. Igualmente, la zirconia muestra una gran resistencia a la corrosión, incluso en un entorno húmedo y ácido como la cavidad bucal, y no experimenta las mismas reacciones químicas perjudiciales que el titanio ante la presencia de flúor (Sharanraj et al., 2021). Además, la resistencia al desgaste de la zirconia permite una mayor durabilidad en el tiempo, manteniendo su estabilidad y estructura bajo condiciones de uso prolongado. Estas propiedades mecánicas, junto con su capacidad para reducir la adhesión bacteriana, la convierten en un material ideal para implantes dentales en pacientes que buscan una opción estética y altamente funcional (Sun & Hong, 2021).

2.3.3. Biocompatibilidad de la zirconia y su impacto en la salud del tejido periimplantario

En el campo de la implantología oral, la zirconia ocupa un lugar de gran importancia debido a su excelente biocompatibilidad, lo que la hace un material seguro y bien asimilado por los tejidos bucales. Su carácter inerte disminuye considerablemente las probabilidades de reacciones alérgicas o negativas, un beneficio esencial en relación con los implantes metálicos. Adicionalmente, la zirconia promueve una unión más armónica con los tejidos blandos alrededor, lo que favorece una adhesión epitelial más eficaz y disminuye la inflamación en la zona periimplantaria (Steinherr, 2024).

Otra ventaja importante es su capacidad para minimizar la acumulación de bacterias en su superficie, lo que disminuye el riesgo de formación de biofilm y complicaciones como la periimplantitis. Estas características mejoran la estabilidad a largo plazo de los implantes y favorecen un entorno más saludable para los tejidos periimplantarios. Como resultado, los implantes de zirconia no solo ofrecen un soporte funcional sólido, sino que también contribuyen al bienestar general del paciente (Al-Faraj et al., 2024).

2.3.4. Comportamiento óptico y ventajas estéticas

Una de las características más destacadas de la zirconia es su superior comportamiento óptico, que le otorga una ventaja significativa en términos de estética. Su color blanco natural y su capacidad de opacidad permiten un camuflaje eficaz en casos de biotipos gingivales finos, donde los implantes de titanio suelen producir sombras grises visibles a través del tejido gingival (Ban, 2021).

Adicionalmente, la zirconia tiene características singulares de translucidez y reflectividad que se asemejan a las de los dientes auténticos, proporcionando resultados más gratificantes en cuanto a aspecto visual. Este material también tiene la capacidad de ocultar de manera efectiva sustratos oscuros, como residuos óseos coloreados o elementos metálicos, lo que lo hace una elección perfecta para pacientes con elevadas expectativas de estética. La zirconia no solo ofrece una opción práctica para la rehabilitación oral, sino que también satisface los criterios estéticos más rigurosos, lo que la sitúa como una opción favorita en tratamientos donde el aspecto es esencial (Jaber et al., 2024).

2.4. Comparación entre Titanio y Zirconia

El titanio y la zirconia son los materiales más utilizados en implantología oral debido a sus propiedades mecánicas y biológicas favorables. Sin embargo, presentan diferencias clave en cuanto a resistencia, biocompatibilidad, estética y durabilidad, que deben considerarse al seleccionar el material adecuado para cada paciente y caso clínico (da Hora Sales et al., 2023).

2.4.1. Resistencia a fractura y a cargas masticatorias

Tanto el titanio como la zirconia presentan una capacidad adecuada para soportar las fuerzas masticatorias habituales en la cavidad bucal, pero sus propiedades mecánicas específicas los hacen adecuados para diferentes escenarios clínicos (Fernandes et al., 2022).

El titanio, famoso por su alta ductilidad y resistencia a la tracción, resulta especialmente eficiente al absorber cargas elevadas y fuerzas de múltiples direcciones sin peligro de fracturarse. Esta ductilidad posibilita que el material se modifique un poco bajo presión extrema sin fracturarse, lo que lo hace una elección perfecta para pacientes con fuerzas oclusales altas, bruxismo grave o restauraciones en áreas de gran carga, como los molares. Además, el titanio tiene la capacidad de resistir ciclos reiterados de carga y descarga durante extensos periodos de tiempo, lo que lo convierte en un material altamente confiable en cuanto a resistencia mecánica (Haugen & Chen, 2022).

Por otro lado, la zirconia se destaca por su fuerte resistencia a la flexión, al desgaste y a la abrasión a pesar de ser menos flexible que el titanio. Debido a estas características, la zirconia puede soportar las tensiones masticatorias típicas sin perder su integridad estructural, lo que la hace apropiada para restauraciones en individuos con oclusión normal o en lugares como los dientes anteriores donde la estética es importante. En la mayoría de sus formulaciones, la zirconia tiene una resistencia a la flexión de aproximadamente 900 MPa, lo que la convierte en un material muy resistente a las fuerzas en circunstancias típicas (Morena et al., 2024).

No obstante, la naturaleza cerámica de la zirconia le otorga una fragilidad relativa frente al titanio. En circunstancias de fuertes cargas o impactos inesperados, la zirconia puede tener una mayor tendencia a padecer fracturas debido a su limitada habilidad para deformarse plásticamente. Este comportamiento provoca que su aplicación en pacientes con fuerzas oclusales elevadas o costumbres parafuncionales, como el bruxismo grave, necesite un exhaustivo análisis clínico

y, en numerosas situaciones, la aplicación de medidas de protección adicionales, como placas de descarga (Bienz et al., 2021).

Además, el diseño del implante y su colocación juegan un papel destacado en la distribución de las cargas. Los implantes de titanio, gracias a su capacidad para absorber deformaciones sin fracturarse, pueden tolerar desalineaciones menores o fuerzas desiguales. Por otro lado, los implantes de zirconia, debido a su rigidez, requieren una colocación más precisa y una distribución uniforme de las fuerzas masticatorias para evitar tensiones excesivas en puntos específicos que puedan comprometer su integridad (Sadowsky, 2020).

Aunque el titanio es más apto para resistir fuerzas extremas y condiciones de funcionamiento rigurosas, la zirconia destaca en contextos donde las fuerzas masticatorias son moderadas y la estética es primordial. La selección del material debe fundamentarse en un análisis exhaustivo de las necesidades funcionales, las fuerzas oclusales anticipadas y las particularidades específicas del paciente, asegurando así la resistencia y la longevidad de los implantes en cada situación (Chiou et al., 2023).

2.4.2. Evaluación de la biocompatibilidad y su influencia en la osteointegración

La biocompatibilidad es uno de los aspectos fundamentales que determinan el éxito a largo plazo de un implante dental, ya que influye directamente en la interacción entre el material del implante, el hueso circundante y los tejidos blandos adyacentes. Tanto el titanio como la zirconia han demostrado ser materiales altamente biocompatibles, pero sus características particulares les otorgan ventajas específicas en diferentes contextos clínicos (Aragoneses et al., 2022).

El titanio se distingue por su destacada biocompatibilidad, debido a su habilidad para generar una capa pasiva de óxido en su superficie cuando se expone al oxígeno. Esta capa no solo resguarda el implante contra la corrosión en el ambiente húmedo y ácido del espacio bucal, sino que también promueve la adhesión de proteínas y células osteoprogenitoras, fomentando así la osteointegración. La osteointegración, entendida como la unión directa estructural y funcional entre el hueso y el implante, es crucial para asegurar una estabilidad mecánica perdurable. El titanio ha sido extensamente investigado y empleado en la implantología durante décadas, demostrando índices de éxito clínico que superan el 95% en la mayoría de las situaciones. Sin embargo, en un pequeño porcentaje de pacientes, pueden presentarse reacciones adversas,

como alergias o hipersensibilidad al titanio, que afectan la aceptación biológica del implante (Hanawa, 2020).

Por otro lado, la zirconia se distingue por su carácter totalmente inerte y sin metal, lo que reduce considerablemente el peligro de reacciones alérgicas o hipersensibilidad. Esta particularidad tiene particular importancia en pacientes con historial de alergias a metales o afecciones inflamatorias crónicas. Adicionalmente, la zirconia posee una habilidad singular para relacionarse de forma positiva con los tejidos blandos alrededor, fomentando una integración epitelial más efectiva. Las investigaciones han evidenciado que los implantes de zirconia promueven el establecimiento de un vínculo más sólido entre los tejidos blandos y el implante, disminuyendo la infiltración de bacterias y, consecuentemente, la posibilidad de inflamación e infecciones periimplantarias, como la periimplantitis (Ou et al., 2021).

Desde el punto de vista de la osteointegración, aunque el titanio sigue siendo el estándar de referencia debido a su capacidad probada para integrarse con el hueso, la zirconia también ha mostrado resultados prometedores. Su superficie, cuando se trata adecuadamente mediante procesos de grabado o microarenado, puede alcanzar niveles comparables de integración ósea. Además, al ser un material cerámico, la zirconia presenta una menor adhesión bacteriana en comparación con el titanio, lo que contribuye a mantener un entorno más saludable en los tejidos periimplantarios (Jaber et al., 2024).

En cuanto a biocompatibilidad y osteointegración, la selección entre titanio y zirconia debe fundamentarse en las particularidades específicas del paciente. En pacientes con alta densidad de huesos y sin historial de alergias, el titanio continúa siendo una alternativa segura y verificada. En cambio, cuando la biocompatibilidad con los tejidos blandos, la estética o la reducción de riesgos alérgicos son esenciales, la zirconia brinda beneficios considerables (Fernandes et al., 2022).

2.4.3. Factores estéticos y aceptación del paciente

En la implantología moderna, los factores estéticos son importantes en la aceptación y satisfacción del paciente, especialmente en casos donde la apariencia visual es tan importante como la funcionalidad del implante. En este contexto, la zirconia ofrece ventajas significativas sobre el titanio, consolidándose como la opción preferida para pacientes con altas demandas estéticas (Afrashtehfar et al., 2021).

La zirconia, debido a su tono blanco natural, se asemeja muy bien al tono de los dientes, lo que la convierte en la opción perfecta para restauraciones en zonas visibles, como los dientes anteriores. Esta particularidad es especialmente significativa en pacientes con biotipos de gingiva delgada, en los que el tejido es fino y facilita el desplazamiento del material subyacente. En estas situaciones, los implantes de titanio, caracterizados por su tono gris metálico, pueden producir sombras perceptibles a través de la encía, impactando de manera adversa el resultado estético. En cambio, la zirconia soluciona este inconveniente y brinda un camuflaje ideal, fusionándose de forma armoniosa con los tejidos alrededor y otorgando un aspecto natural (de Freitas et al., 2023).

Además, la zirconia tiene cualidades ópticas especiales, como la opacidad y la translucidez reguladas, que mejoran su camuflaje en diversas situaciones bucales. Debido a estas características, la luz puede dispersarse de manera similar a como lo haría en un diente genuino, lo que hace que el producto final sea más realista y visualmente atractivo. Esta función es especialmente trascendental para los pacientes que tienen altos estándares estéticos o cuando la línea de la sonrisa es notable y el implante es visible al hablar o sonreír (da Silva et al., 2024).

La aceptación del paciente a los implantes de zirconia está vinculada generalmente a su carácter no metálico, lo que suprime inquietudes estéticas relacionadas a la corrosión o el deterioro del material. Además, numerosos pacientes aprecian que la zirconia es un material cerámico inerte, sin ninguna relación visual con los materiales metálicos, que frecuentemente se ven como menos modernos y estéticos (Hasan, 2022).

En comparación, aunque el titanio sigue siendo altamente eficaz desde un punto de vista funcional y mecánico, sus limitaciones estéticas lo hacen menos deseable en casos donde la apariencia es prioritaria. Incluso en pacientes con biotipos gingivales gruesos, el riesgo de exposición del implante o de componentes metálicos durante procedimientos quirúrgicos o en situaciones de recesión gingival puede comprometer el resultado estético final. Esto es especialmente crítico en pacientes jóvenes o en aquellos con expectativas altas respecto a la apariencia de sus restauraciones dentales (Alanazi, 2024).

2.4.4. Desgaste y durabilidad a largo plazo

La durabilidad es uno de los factores más importantes a considerar en la selección de materiales para implantes dentales, ya que influye directamente en la duración y el éxito funcional del tratamiento. Tanto el titanio como la zirconia

son materiales altamente resistentes, pero presentan diferencias significativas en su comportamiento frente al desgaste, la corrosión y su capacidad para resistir condiciones extremas (French et al., 2021).

El titanio se distingue por su magnífica resistencia al desgaste, lo que le facilita resistir ciclos reiterados de carga y descarga durante extensos periodos sin poner en riesgo su integridad estructural. Además, la capa natural de óxido que se genera en la superficie del titanio funciona como una barrera de protección contra la corrosión, lo que favorece su conservación en ambientes húmedos y ácidos de la cavidad bucal. Sin embargo, esta resistencia no es absoluta. En presencia de ciertos compuestos químicos, como flúor en concentraciones elevadas (común en productos de higiene oral), el titanio puede experimentar corrosión localizada, conocida como corrosión por picadura, que podría debilitar el implante y comprometer su estabilidad a largo plazo. Este fenómeno es especialmente relevante en pacientes que utilizan productos fluorados intensivamente o que presentan un pH bucal alterado (Romanos et al., 2021).

En contraposición, la zirconia sobresale por su extraordinaria resistencia al desgaste y a la corrosión, incluso bajo condiciones químicas extremas. Su carácter cerámico e inerte la protege de los impactos de elementos corrosivos, como el flúor, asegurando así una estabilidad superior en ambientes severos. Esta resistencia a la corrosión también disminuye la posibilidad de que partículas o iones se liberen al entorno alrededor del implante, lo que favorece la preservación de un ambiente biológico sano alrededor del implante. En términos de desgaste, la zirconia tiene una superficie extremadamente dura que la protege frente a la abrasión, lo que la convierte en una opción ideal para pacientes con altos requerimientos funcionales y estéticos. Sin embargo, su rigidez y falta de elasticidad relativa la hacen más susceptible a fracturas bajo cargas de impacto súbito o en situaciones donde se producen tensiones concentradas. Este comportamiento es típico de los materiales cerámicos, que, aunque resistentes al desgaste, presentan fragilidad en comparación con los metales (Kohal & Dennison, 2020).

Adicionalmente, el diseño y la instalación del implante también tienen un rol protagónico. Los implantes de titanio, debido a su ductilidad, pueden soportar pequeñas desviaciones o irregularidades en su inserción, mientras que la zirconia, por su rigidez, necesita una ubicación exacta y una repartición homogénea de las fuerzas masticatorias para prevenir tensiones excesivas que puedan poner en riesgo su integridad (Chopra et al., 2024).

Aunque el titanio brinda una mayor flexibilidad y habilidad para resistir ciclos de carga extendidos, su propensión a la corrosión en ambientes particulares puede representar un obstáculo en algunos pacientes. Por otro lado, la zirconia brinda una mayor resistencia al desgaste y a la corrosión, sin embargo, su relativa fragilidad ante impactos puede limitar su aplicación en circunstancias de cargas elevadas o en pacientes con comportamientos parafuncionales graves. La elección del material más apropiado debe tener en cuenta no solo las propiedades mecánicas y químicas del material, sino también las condiciones particulares del paciente y el ambiente donde se aplicará el implante. Esto asegura no solo la longevidad del implante, sino también el triunfo estético y funcional a largo plazo (Calazans Neto et al., 2024).

3. Planteamiento del problema

Hoy en día, la necesidad de soluciones estéticas en odontología ha crecido significativamente, motivada por pacientes cada vez más conscientes de los materiales utilizados y sus potenciales impactos en la salud y el bienestar general. Este incremento en el interés se manifiesta en la demanda de tratamientos personalizados, avalados por pruebas médicas y biológicas que faciliten la elección de la alternativa más adecuada para cada situación. En este escenario, la implantación de implantes dentales debe enfocarse en el empleo de materiales que sean biocompatibles con el ambiente y los tejidos bucales, aptos para resistir cargas masticatorias elevadas, y asegurar un éxito clínico duradero, además de un pronóstico positivo para la prótesis implanto soportada.

En paralelo, ha surgido una tendencia hacia la eliminación de metales en el cuerpo, incluyendo la cavidad oral, motivada por teorías que asocian los metales con reacciones de toxicidad en los tejidos. Aunque estas teorías carecen de sustento científico sólido, han promovido el interés por alternativas más biocompatibles y alineadas con enfoques de medicina holística. En este contexto, los pacientes también priorizan implantes con características estéticas superiores que puedan integrarse visualmente en la cavidad oral sin comprometer la funcionalidad.

El titanio ha sido durante mucho tiempo el material preferido para los implantes dentales debido a su gran capacidad de osteointegración, su gran resistencia y su amplio respaldo científico. Sin embargo, la búsqueda de sustitutos como el zirconio se ha visto impulsada por su aspecto brillante y las sombras que puede proyectar en los tejidos gingivales. La excepcional biocompatibilidad de este material, su excelente capacidad de osteointegración y su color blanco natural lo hacen perfecto para aplicaciones estéticas. Además, está completamente libre de metal. A pesar de estos beneficios, los implantes de zirconio son todavía relativamente nuevos en el mercado y solo un pequeño número de países los han evaluado, lo que deja pocos datos sobre su comportamiento clínico y radiológico a largo plazo.

La incertidumbre sobre qué sustancia es mejor ha provocado un debate entre pacientes y médicos por igual. La elección del material no es sencilla porque requiere evaluar una serie de factores, entre ellos la biocompatibilidad, la resistencia a las fuerzas masticatorias, el impacto en los tejidos periimplantares, la durabilidad y las exigencias estéticas del paciente. Con base en estas consideraciones, el objetivo de este estudio es comparar la estabilidad primaria de los implantes de titanio y zirconio, evaluar su rendimiento clínico y radiográfico a largo plazo y determinar su potencial como implantes profilácticos en la

rehabilitación postoperatoria. Esta evaluación permitirá aportar evidencia científica para orientar la selección del material más adecuado en la práctica clínica.

4. Justificación

La implantología oral ha transformado la práctica clínica en odontología, consolidándose como una solución predecible y eficaz para pacientes con pérdidas de piezas dentales. Este tipo de tratamiento, con tasas de éxito significativamente superiores a otras opciones de rehabilitación oral, se ha convertido en un estándar gracias al fenómeno de la oseointegración y a la interacción adecuada con los tejidos periimplantarios. Los resultados favorables a largo plazo reportados en la literatura destacan el papel fundamental de la investigación experimental y clínica en el desarrollo y mejora de los materiales utilizados en la fabricación de implantes dentales.

Desde los primeros implantes con superficies mecanizadas hasta las últimas innovaciones en microarenado y revestimientos con plasma de titanio o hidroxiapatita, el progreso en técnicas y materiales ha facilitado la mejora de la oseointegración. La superficie del implante desempeña un papel crucial, dado que sus características físicas y químicas influyen directamente en la reacción del tejido huésped. El propósito de las modificaciones en la composición de la superficie es optimizar la integración del implante con el hueso, asegurando una rehabilitación funcional y estética apropiada, además de la estabilidad requerida para resistir las fuerzas masticatorias fuertes que se producen en la cavidad oral.

Hoy en día, el titanio se ha convertido en el material más empleado gracias a su amplia base científica, elevada resistencia mecánica y destacada biocompatibilidad. No obstante, otros materiales, como la zirconia, han surgido como opciones con gran potencial, sobresaliendo por sus características estéticas, su tono natural y su habilidad para interactuar de manera positiva con los tejidos suaves. De acuerdo con varias investigaciones, la zirconia ofrece beneficios extra en cuanto a biocompatibilidad y resistencia al desgaste. Sin embargo, su comportamiento biomecánico, particularmente en comparación con el hueso alveolar, presenta diferencias significativas, como las vinculadas con el módulo de elasticidad (módulo de Young) del material.

Dado que la estabilidad y la eficacia del tratamiento dependen principalmente del material utilizado para fabricar los implantes dentales, esta elección es crucial para la rehabilitación oral. Para que la osteointegración sea exitosa, el zirconio y el titanio deben cumplir con los requisitos mecánicos y biológicos. Un elemento clave para prevenir problemas durante el posoperatorio es la regulación del micro movimiento en la interfaz entre el implante y el hueso. Por lo tanto, los procesos clínicos deben evaluar cuidadosamente la estabilidad primaria de los implantes y modificar los enfoques terapéuticos para satisfacer los requisitos únicos de cada paciente.

5. Hipótesis

Los implantes de titanio tienen una eficacia superior clínica y radiográfica en comparación con los implantes de zirconia.

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Evaluar clínica y radiográficamente la estabilidad primaria y pronóstico de los implantes de zirconia y titanio.

6.2. Objetivos Específicos

- Comparar las propiedades y características de ambos materiales para su utilización como implantes dentales.
- Identificar el material que más favorezca la oseointegración de los maxilares y que menos perjudique las cargas masticatorias.
- Considerar el estado clínico de los pacientes asistidos como así también aceptación de los implantes colocados.
- Evaluar las condiciones clínicas y radiográficas de ambos implantes posterior a su colocación, al mes y a los 90 días.
- Determinar mediante el uso de dispositivos “Osstell y Periotest” la estabilidad primaria.
- Comparar la osteointegración lograda entre el hueso y la superficie del implante de titanio y zirconia, a través de la evaluación radiográfica.
- Transferir los resultados al campo de la Implantología Oral.

7. Materiales y métodos

7.1. Orientación y Diseño de la Investigación

La investigación se caracterizó por ser de tipo práctica, orientada a resolver preguntas específicas sobre la eficacia clínica y radiográfica de los implantes dentales de titanio y zirconia en un contexto real de práctica clínica. El alcance fue correlacional-comparativo, permitiendo identificar y analizar las relaciones entre las características clínicas, estéticas y biomecánicas de ambos materiales, evaluando las diferencias significativas en su desempeño en pacientes bajo condiciones similares.

La metodología empleada fue cuantitativa, enfocada en la recopilación y estudio de datos cuantificables para asegurar la objetividad y exactitud de los hallazgos. La investigación se desarrolló de forma experimental, dado que implicó el manejo controlado de factores como el tipo de implante empleado y la valoración de su rendimiento en contextos clínicos controlados. La temporalidad fue transversal, establecida entre enero y diciembre de 2023, periodo en el que se realizaron todas las fases del estudio, desde la elección de pacientes hasta la recolección de resultados clínicos y radiográficos.

El estudio se llevó a cabo en el contexto de la práctica privada, lo que facilitó el trabajo con un grupo de pacientes auténticos procedentes de clínicas odontológicas urbanas. Este método pragmático y eficaz permitió la obtención de resultados pertinentes y transferibles al ámbito clínico, favoreciendo la optimización de la toma de decisiones en la elección de materiales para implantes dentales.

7.2. Población y Muestra

El grupo de estudio se conformó por 10 pacientes que fueron atendidos en clínicas dentales situadas en las áreas urbanas de las ciudades de La Plata y Buenos Aires. A cada uno se le colocaron 2 implantes (uno de Titanio y uno de Zirconia), siendo N:20. Esta comunidad fue seleccionada por su fácil acceso y representatividad en el contexto clínico real. La elección de los participantes se llevó a cabo a través de un muestreo por conveniencia, lo que permitió la inclusión de pacientes que satisfacían criterios particulares de elegibilidad, asegurando la factibilidad del estudio y la obtención de resultados significativos.

7.2.1. Criterios de Inclusión

Para formar parte del estudio, los pacientes debían cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser de ambos géneros, con edades comprendidas entre 18 y 70 años, asegurando una muestra diversa que incluyera una representación adecuada de diferentes rangos etarios.
- Aceptar participar en el estudio mediante la firma de un consentimiento informado, garantizando su comprensión y aprobación del procedimiento quirúrgico y los controles asociados.
- Presentar una condición de edentulismo parcial en el sector posterior de ambos maxilares, condición específica que justificará la colocación de implantes dentales con carga inmediata.
- Mostrar disposición y compromiso para asistir a todas las citas de seguimiento clínico y radiográfico, esenciales para evaluar la evolución de los implantes.

7.2.2. Criterios de Exclusión

- Se excluyeron del estudio a los pacientes que presentaban las siguientes características:
- Rechazo a participar o negativa para firmar el consentimiento informado, respetando su decisión y garantizando el cumplimiento de principios éticos.
- Presencia de enfermedades sistémicas o locales que contraindicasen la colocación de implantes dentales, como desórdenes metabólicos o patologías que pudieran interferir con la osteointegración.
- Ser menores de edad o estar bajo terapia antirresortiva, considerando los riesgos asociados a estas condiciones en el éxito del tratamiento.

7.2.3. Criterios de Eliminación

Adicionalmente, se eliminaron del estudio a aquellos pacientes que, en el momento de la selección, presentaron las siguientes condiciones:

- Infecciones alveolares activas en las zonas seleccionadas para el tratamiento, ya que estas podrían comprometer el proceso de cicatrización y la estabilidad inicial del implante.

La implementación de estos criterios posibilitó la formación de una muestra uniforme y clínicamente apropiada para alcanzar las metas del estudio. Este método aseguró que los resultados alcanzados fueran representativos de la población objetivo y que los elementos externos que pudieran afectar el éxito del tratamiento se minimizarán. Además, la elección meticulosa de los pacientes

contribuyó al acatamiento del protocolo y a la calidad de los datos recolectados durante la realización del estudio.

7.3. Materiales

7.3.1. Implantes Dentales

- **Implante Cerámico Straumann Pure (4.1 x 10 mm):** Este implante, hecho de cerámica de óxido de zirconio, se diseñó especialmente para pacientes con alta demanda estética o con sensibilidad a metales. Su estructura cerámica le otorga características biocompatibles superiores, suprimiendo los peligros de alergias o reacciones negativas vinculadas a los metales. Su tono blanco natural se asemeja al de los dientes, lo que resulta perfecto para áreas donde la estética es primordial, como los dientes anteriores. Adicionalmente, su superficie microrreticulada promovió la osteointegración al ofrecer un microambiente ideal para la adhesión celular. Este diseño también previó la aparición de sombras en la gingiva, un inconveniente habitual en implantes metálicos, garantizando resultados estéticos de excelente calidad.

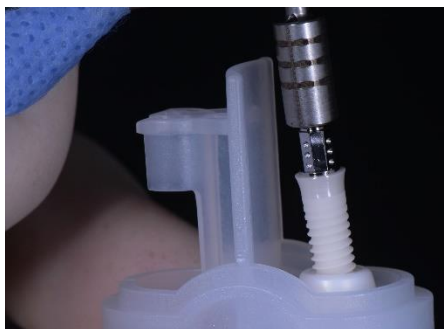


Imagen 1. Implante Cerámico Straumann Pure.

- **Implante Roxolid Tissue Level RN (4.1 x 10 mm):** El implante Roxolid se compone de una aleación de titanio y zirconio, que fusiona una elevada resistencia mecánica con biocompatibilidad superior. Esta aleación permitió disminuir el diámetro del implante sin poner en riesgo su estabilidad, lo que resultó particularmente beneficioso en zonas con restricción ósea. Su diseño armonizado con el tejido promovió una integración tanto estética como funcional con los elementos protésicos. La plataforma protésica, diseñada para disminuir el micromovimiento, aportó a una vinculación segura y estable entre el implante y las prótesis, prolongando la durabilidad del tratamiento incluso en situaciones clínicas difíciles.



Imagen 2. Implante Roxolid Tissue Level RN

7.3.2. Escáneres Intraorales y de Laboratorio

- **Virtuo Vivo (Dental Wings):** Este escáner de alta resolución intraoral facilitó la captura de imágenes tridimensionales minuciosas en tiempo real. Debido a su diseño ergonómico y a su avanzada tecnología, sustituyó la necesidad de impresiones físicas tradicionales, minimizando el malestar para los pacientes. Las imágenes capturadas fueron cruciales para organizar con exactitud las cirugías guiadas, dado que representaron fielmente la anatomía oral, mejorando la aplicación de los implantes y el diseño de los componentes protésicos.

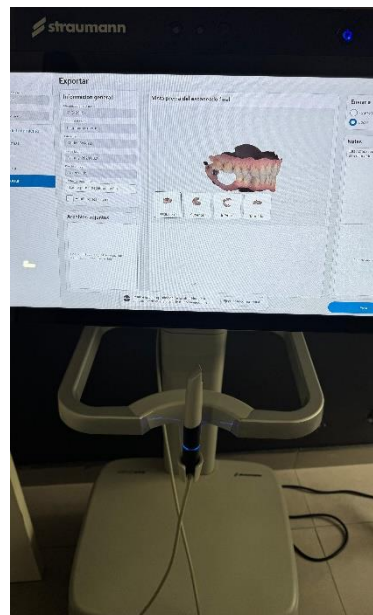


Imagen 3. Virtuo Vivo Dental Wings)

- **Escáner 3Shape:** Este microscopio de laboratorio enriqueció la labor del microscopio intraoral, digitalizando modelos físicos y generando representaciones tridimensionales exactas. Su habilidad para recoger detalles microscópicos facilitó la creación de prótesis a medida que se ajustaron de manera ideal al ambiente gingival y oclusal del paciente. Este grado de exactitud permitió la producción de coronas y estructuras

protésicas que satisficieron tanto las necesidades funcionales como estéticas del tratamiento.



Imagen 4. Escáner 3Shape

7.3.3. Impresoras 3D

- **Impresora Phrozen Mighty:** La impresora Phrozen Mighty, gracias a la tecnología de estereolitografía (SLA), facilitó la creación de guías quirúrgicas de gran exactitud utilizando resinas fotosensibles. Estas directrices aseguraron una ubicación precisa de los implantes, conforme a los planes quirúrgicos previamente elaborados. La exactitud micrométrica de la impresora redujo los fallos durante la operación guiada, incrementando la seguridad del procedimiento y la seguridad del paciente.



Imagen 5. A- Impresora Phrozen Mighty- B- Curadora marca Crealty.

- **Resina Fotosensible VeriGuide (Wipmix):** La resina VeriGuide fue seleccionada por su biocompatibilidad y capacidad para moldearse con detalles finos, lo que permitió crear guías quirúrgicas seguras y ajustadas a la anatomía del paciente. Este material contribuyó a reducir errores en

la profundidad y angulación de los implantes, asegurando que el procedimiento quirúrgico se realizara de manera precisa y eficiente.



Imagen 6. Resina Fotosensible VeriGuide (Wipmix)

7.3.4. Instrumentos y accesorios

- **Anillas Metálicas (Straumann):** Estas anillas, integradas en las guías quirúrgicas, aseguraron que los instrumentos quirúrgicos penetraran en los ángulos y profundidades correctos. Fabricadas con precisión, fueron esenciales para garantizar que la posición y estabilidad del implante se alinearan con el plan quirúrgico.



Imagen 6. Anillas Metálicas (Straumann).

- **Caja de Cirugía Guiada (Straumann, sistema Tissue Level):** Este paquete quirúrgico contó con instrumentos específicos creados para manipular las guías quirúrgicas impresas en tres dimensiones. Su diseño modular permitió la inserción regulada de los implantes Roxolid, reduciendo las fluctuaciones durante la inserción y garantizando la estabilidad primaria en el hueso.



Imagen 7. Caja de Cirugía Guiada (Straumann, sistema Tissue Level)

7.3.5. Sistemas de medición de estabilidad

- **Osstell:** Este dispositivo utilizó la tecnología de frecuencia de resonancia para medir el Índice de Estabilidad de Implante (ISQ). Los valores obtenidos ofrecieron una evaluación objetiva de la calidad de la osteointegración en diferentes etapas postoperatorias, permitiendo determinar si el implante era apto para soportar carga o requería más tiempo de cicatrización.



Imagen 8.a- Medidor de estabilidad marca Osstell- b. Smartpeg

- **Periotest:** El Periotest enriqueció las medidas del Osstell, valorando la movilidad del implante a través de vibraciones. Los valores negativos obtenidos indicaron una mayor estabilidad, ofreciendo una perspectiva adicional sobre el comportamiento biomecánico del implante durante la integración ósea.



Imagen 9. Dispositivo de estabilidad marca Periotest

7.3.6. Rehabilitación protésica

- **Tapones de Cicatrización y Pilares Protésicos (Straumann):** Estos elementos resguardaron los implantes durante el periodo de curación y garantizaron la conservación del perfil de emergencia requerido para la implantación de las prótesis finales. Los pilares protésicos ofrecieron una firme base estructural para la rehabilitación protésica, aportando tanto a la eficacia como a la belleza del tratamiento.
- **Coronas de Zirconio:** Las coronas de zirconio fueron seleccionadas para completar la rehabilitación protésica debido a su combinación ideal de resistencia mecánica, durabilidad y estética natural. Este material cerámico de alta tecnología imita el color y la translucidez de los dientes naturales, proporcionando una apariencia visual armónica que es especialmente relevante en zonas visibles de la cavidad oral. Las coronas de zirconio, debido a su elevada resistencia a la flexión y al desgaste, brindan una solución perdurable incluso en pacientes con fuerzas oclusales altas o hábitos parafuncionales moderados. Estas coronas se crearon de forma digital empleando el programa 3Shape, garantizando un ajuste exacto tanto en el área gingival como en la oclusión funcional del paciente. Su biocompatibilidad aseguró una correcta integración con los tejidos blandos alrededor, disminuyendo la posibilidad de inflamación o reacciones negativas. Además de su utilidad, las coronas de zirconio proporcionaron un beneficio estético considerable, debido a su habilidad para ocultarse en el ambiente oral sin causar sombras o interrupciones visuales, particularmente en combinación con implantes cerámicos como el Straumann Pure. Este grado de personalización permitió rehabilitaciones protésicas que no solo satisfacían las necesidades funcionales, sino que también cumplían con las elevadas aspiraciones

estéticas de los pacientes. La selección de este material constituyó una respuesta completa para alcanzar resultados gratificantes y perdurables tanto en términos clínicos como estéticos.

7.3.7. Software de planificación

El programa coDiagnostiX, creado por Dental Wings, jugó un papel fundamental en la planificación preoperatoria al facilitar la incorporación de imágenes tridimensionales derivadas de escáneres intraorales y tomografías digitales. Este sistema proporcionó una visión minuciosa de las estructuras anatómicas vitales, tales como los senos maxilares, los nervios de la mandíbula y la densidad de hueso alrededor, lo cual se volvió crucial para asegurar una instalación segura y exacta de los implantes.

Además, coDiagnostiX permitió la simulación virtual de la posición de los implantes, ajustando su orientación, angulación y profundidad para optimizar tanto la estabilidad primaria como el resultado protésico final. Su capacidad para generar guías quirúrgicas personalizadas, impresas en 3D con materiales biocompatibles como la resina VeriGuide, facilitó la ejecución de cirugías guiadas con una precisión micrométrica, minimizando riesgos quirúrgicos y aumentando la predictibilidad del tratamiento. Este enfoque digital mejoró significativamente la planificación y ejecución de los procedimientos, reduciendo errores humanos y mejorando la experiencia del paciente al garantizar resultados consistentes y exitosos.

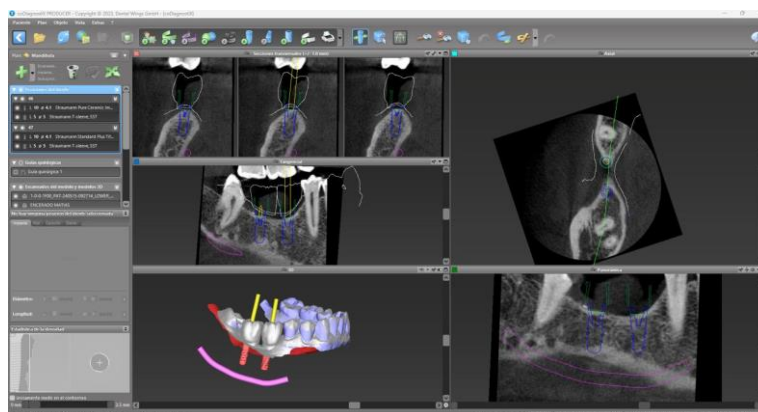


Imagen 10. Software de planificación coDiagnostiX.

7.4- Métodos

7.4.1- Selección de pacientes

La elección de pacientes se realizó de acuerdo a los criterios de inclusión, exclusión y eliminación previamente definidos, garantizando que la muestra reflejara una población uniforme en cuanto a requerimientos clínicos y factores de riesgo. La distribución aleatoria de los tipos de implantes (Straumann Pure y Roxolid Tissue Level RN) aseguró que no hubo prejuicios en la asignación de los grupos y permitió una comparación justa entre ambos materiales. Esta aleatorización también contribuyó a la validez interna de la investigación, garantizando que las variaciones detectadas fueran exclusivamente atribuibles a las propiedades de los implantes.

7.4.2- Protocolo de colocación de implantes

El procedimiento de colocación de implantes se llevó a cabo bajo estrictos estándares de planificación y ejecución quirúrgica.

La primera etapa implicó la creación y producción de guías quirúrgicas a medida. Para este fin, se empleó el programa coDiagnostiX, el cual permitió la integración de imágenes tridimensionales adquiridas a través de escáneres intraorales y tomografías digitales. Estas fotografías ofrecieron una visión minuciosa de estructuras anatómicas vitales, como los senos maxilares y los nervios de la mandíbula, mejorando la organización de la posición, angulación y profundidad de los implantes. Posteriormente, las guías quirúrgicas se imprimieron utilizando la impresora 3D Phrozen Mighty, empleando resina fotosensible VeriGuide, seleccionada por su biocompatibilidad y capacidad para moldearse con precisión micrométrica. Para garantizar la exactitud durante la cirugía, se incorporaron anillas metálicas Straumann en las guías, las cuales aseguraron la correcta angulación y profundidad de inserción.

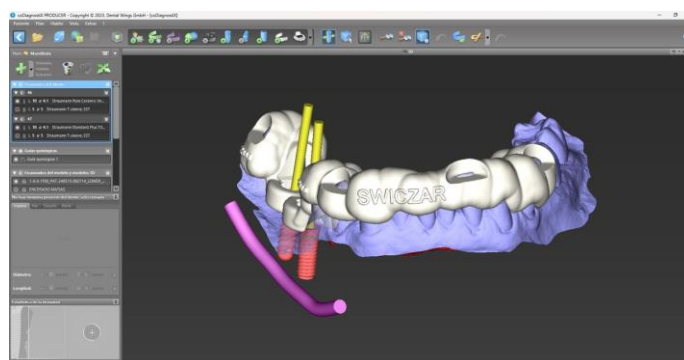


Imagen 11. Producción de guías quirúrgicas.

Durante el proceso de cirugía, se realizó la implantación guiada de los implantes cerámicos Straumann Pure y los de aleación Roxolid Tissue Level RN en las áreas de los premolares y molares superiores e inferiores. Este procedimiento se llevó a cabo con la caja de cirugía guiada Straumann, que incluía equipo específico diseñado para ajustarse a las directrices quirúrgicas. Este sistema posibilitó una ubicación exacta de los implantes, garantizando su primera estabilidad en el hueso y minimizando las eventuales fluctuaciones durante el procedimiento. Durante el procedimiento quirúrgico, se documentaron datos críticos de la intraoperatoria, como el torque inicial, que muestra la fijación primaria del implante, y la estabilidad lograda en el instante de su implantación. También se documentó la ausencia de complicaciones quirúrgicas, como perforaciones o daños a las estructuras anatómicas cercanas.



Imagen 12. Posicionamiento de Guía quirúrgica de precisión.

Este método constante y fundamentado en tecnología de punta aseguró una colocación ideal de los implantes, potenciando tanto la estabilidad primaria como la predicción del resultado clínico a largo plazo.



Imagen 13. A- Fresado- B- Colocación mecanizada del implante- C- Implantes de Zirconia y Titanio instalados.

7.4.3- Rehabilitación protésica

La rehabilitación protésica se llevó a cabo en dos etapas claramente diferenciadas, asegurando un enfoque meticuloso para optimizar la funcionalidad y la estética del tratamiento.

En la etapa de cicatrización, los implantes fueron resguardados mediante tapones de cicatrización creados específicamente para preservar el perfil de

emergencia y prevenir la contaminación bacteriana en el lugar de la cirugía. Estos bloques también facilitaron la conservación de la forma del tejido blando alrededor del implante, lo que permitió una integración armónica con la prótesis definitiva. Durante este lapso, se supervisó de forma continua a los pacientes para detectar cualquier indicio de inflamación, dolor o cualquier complicación postoperatoria, como infecciones periimplantarias o ausencia de una cicatrización apropiada. Este estricto monitoreo clínico permitió hacer modificaciones y asegurar un ambiente ideal para la incorporación de los implantes.

Luego, durante la etapa de implantación protésica, se colocaron pilares protésicos en ambos tipos de implantes (Straumann Pure y Roxolid Tissue Level RN) con el objetivo de ofrecer el respaldo estructural requerido para las coronas de zirconio. Estas coronas se crearon y produjeron a través de tecnología digital, empleando escáneres y programas sofisticados que garantizaron un ajuste exacto en el ambiente gingival y oclusal del paciente. Este grado de exactitud no solo mejoró la eficacia del tratamiento al restablecer la habilidad para masticar, sino que también aseguró resultados estéticos excepcionales, replicando el aspecto natural de los dentales. La última rehabilitación brindó a los pacientes una solución protésica perdurable y sumamente gratificante, tanto desde el aspecto funcional como visual.



Imagen 13. A- Pilares Variobase. B- Coronas instaladas.

7.4.4- Evaluación clínica y radiográfica

La evaluación clínica y radiográfica fue fundamental para monitorear el progreso de los implantes durante el estudio, permitiendo obtener datos objetivos y detallados sobre su estabilidad y osteointegración en diferentes etapas postoperatorias.

En el análisis de la estabilidad primaria y la osteointegración, se empleó el aparato Osstell, que calcula el Índice de Estabilidad del Implante (ISQ). Este parámetro numérico brindó una valoración exacta de la calidad de la osteointegración al examinar la interacción entre el implante y el hueso alrededor.

Las mediciones ISQ posibilitaron establecer si los implantes tenían la suficiente estabilidad para resistir la carga funcional o si necesitaban un periodo de cicatrización más prolongado. Para enriquecer estos resultados, se utilizó el Periotest, un aparato que mide la movilidad del implante a través de vibraciones reguladas. Los resultados del Periotest proporcionaron una visión completa al contrastar los valores negativos de estabilidad inicial con los obtenidos en etapas subsiguientes, contribuyendo a corroborar el correcto avance del proceso de integración.



Imagen 14. A- Valor inicial Osstell- B- Valor inicial Periotest.

Al mismo tiempo, se realizaron exámenes radiográficos en periodos críticos, concretamente a las 2 semanas y a los 3 meses después de la implantación. Las radiografías digitales facilitaron el análisis de la cicatrización ósea en torno a los implantes y el avance de la osteointegración, ofreciendo imágenes exhaustivas de la relación entre la superficie del implante y el hueso circundante. Estos controles también resultaron fundamentales para detectar cualquier indicio de complicación, tales como cambios en el implante, inflamación en el esqueleto o disminución de la densidad ósea en el área tratada.

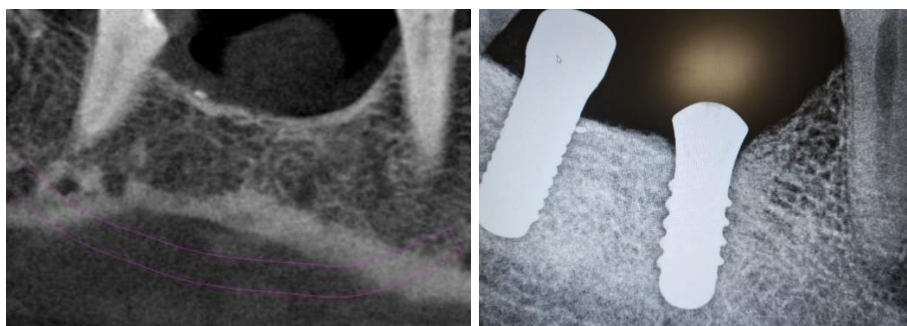


Imagen 14. A- RX de la situación inicial. B- RX implantes integrados.

7.4.5- Educación al paciente

La educación al paciente fue un componente esencial del protocolo del estudio, ya que no solo optimizó los resultados del tratamiento, sino que también ayudó a prevenir complicaciones posoperatorias comunes, como infecciones

periimplantarias. Estas sesiones educativas se llevaron a cabo de manera personalizada, asegurando que cada paciente comprendiera claramente las pautas necesarias para el cuidado adecuado de sus implantes y tejidos circundantes.

Uno de los métodos fundamentales fue brindar información precisa sobre la higiene oral, ajustadas a las necesidades particulares de cada paciente. Estas pautas contemplaron métodos específicos de cepillado para prevenir la acumulación de placa bacteriana alrededor de los implantes, subrayando la relevancia de emplear cepillos interproximales o eléctricos en zonas de acceso complicado. Además, se sugirió el empleo de enjuagues antisépticos, como la clorhexidina en niveles adecuados, para disminuir la carga bacteriana en la cavidad bucal durante el periodo crucial de cicatrización. Se instruyó a los pacientes acerca de la regularidad y el método correcto para maximizar su eficacia sin provocar irritación.

Además, se impartieron técnicas eficaces para evitar infecciones periimplantarias, subrayando la relevancia de preservar un entorno bucal limpio y regulado. Se transmitió de manera concreta cómo reducir factores de riesgo, como el tabaquismo o el consumo de alimentos que pudieran provocar irritación en el área tratada. Posteriormente, se monitoreó de cerca el cumplimiento de estas cuestiones, organizando visitas periódicas para evaluar el avance de cada paciente.

Estas sesiones de enseñanza no solo potenciaron la cooperación de los pacientes, sino que también aportaron de manera considerable el logro global del procedimiento, garantizando que los implantes permanecieran en excelentes condiciones funcionales y estéticas a largo plazo. La mezcla de información precisa, monitoreo continuo y personalización de las sugerencias resultó esencial para evitar problemas y fomentar una recuperación exitosa.

7.4.6- Análisis Estadístico

El estudio estadístico de los datos obtenidos se realizó empleando el programa MATLAB, elegido por su habilidad para manejar información de forma sólida y exacta. Este método permitió asegurar la objetividad en el manejo de los datos y lograr resultados fiables que corroboraran las conclusiones de la investigación.

En primer lugar, se realizó un análisis de normalidad mediante la aplicación de la prueba Shapiro-Wilk. Este análisis fue fundamental para verificar la distribución de los datos y confirmar si estos seguían una distribución normal, lo

cual era necesario para seleccionar las pruebas estadísticas más adecuadas. Este paso aseguró la validez de las técnicas utilizadas posteriormente, garantizando que los resultados fueran estadísticamente significativos.

Posteriormente, se implementaron pruebas de comparación utilizando el método ANOVA (Análisis de Varianza). Esta técnica se empleó para comparar los valores de estabilidad (ISQ y Periotest) obtenidos entre los dos tipos de implantes evaluados: Straumann Pure y Roxolid Tissue Level RN. El ANOVA permitió identificar diferencias significativas en los resultados clínicos e imagenológicos, evaluando objetivamente el desempeño de cada implante en términos de estabilidad primaria, osteointegración y respuesta periimplantaria. Este análisis fue clave para determinar la efectividad de cada material en condiciones comparables.

Finalmente, se realizaron estudios de correlación con el objetivo de valorar las conexiones entre las variables clínicas e imágenes. Dentro de las variables clínicas se encontraban el dolor, la inflamación y la movilidad del implante, mientras que las variables de imagenología abarcaron la osteointegración y la cicatrización ósea. Este método permitió reconocer la interacción de estas variables y su efecto conjunto en la efectividad del tratamiento. El estudio de correlaciones brindó una perspectiva completa de los elementos que afectan el éxito de los implantes, resaltando las fortalezas y posibles restricciones de cada material.

8. Aspectos Éticos del estudio

El presente estudio se diseñó y ejecutó en estricto cumplimiento con las normativas internacionales y nacionales sobre ética en investigación con seres humanos. En particular, se adhirió a la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (WMA), a la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de la UNESCO, y a las Pautas Éticas Internacionales del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS). Estas normativas establecen estándares fundamentales para garantizar el respeto por los derechos, la dignidad y el bienestar de los participantes en investigaciones biomédicas.

Igualmente, la investigación se adhirió a las normativas nacionales y provinciales pertinentes, además del Código de Ética de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), especialmente en lo concerniente a estudios en humanos. Este esquema moral aseguró que cada faceta del proyecto se llevara a cabo con integridad y responsabilidad.

Para salvaguardar la privacidad, la intimidad y la confidencialidad de los participantes, se implementó un sistema de codificación de la información de los pacientes y los tratamientos, impidiendo la revelación de datos personales en cualquier fase del estudio. Además, se llevaron a cabo encuentros informativos para detallar a los participantes los procedimientos del estudio, garantizando que entendieran completamente su implicación antes de dar su consentimiento. El consentimiento informado se obtuvo de forma libre, voluntaria y correctamente registrada, tal como se especifica en el Anexo 1.

El estudio también declara la ausencia de conflictos de interés que puedan comprometer la objetividad de los resultados. Finalmente, se sometió el protocolo de investigación a la revisión y aprobación del Comité de Bioética de la Facultad de Odontología de la UNLP, cumpliendo así con los más altos estándares éticos y científicos.

9. Resultados

9.1- Evaluación Clínica y Radiográfica de la Estabilidad y Osteointegración de los Implantes

La valoración clínica y radiográfica de la estabilidad y osteointegración de los implantes dentales es un elemento importante en la odontología contemporánea, ya que permite establecer la efectividad y duración de los tratamientos. Este capítulo expone un estudio fundamentado en la información recopilada de diez pacientes que fueron tratados con distintos tipos de implantes y que presentaban distintas condiciones clínicas (ver Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de Evaluación Clínica.

Paciente	Pieza	Implante	Medida Tejido [mm]	AI Momento - Osstell	AI Momento - Periotest	30 días - Osstell	30 días - Periotest	90 días - Osstell	90 días - Periotest
N1	47	Pure	N/A	81	-7	84	-6	87	-5
	46	TL	N/A	65	-3	72	-4	76	-3
N2	46	TL ACTIVE	1.5	77	-7	79	-6	84	-5
	47	Pure	1.5	85	-7	88	-6	91	-5
N3	46	RN SLA ACTIVE	3.5	70	-5	74	-4	80	-3
	47	RDZLA	3.5	76	-6	N/A	N/A	N/A	N/A
N4	24	Pure RDZLA	2.0	80	-4	82	-3	86	-2
	25	TL RN	2.0	78	-6	80	-5	84	-4
N5	36	Pure	1.5	78	-6	82	-5	86	-4
	37	TL Roxolid SLA ACTIVE	1.5	70	-4	74	-3	78	-2
N6	46	Pure	3.0	80	-7	84	-6	88	-5
	47	TL	3.0	68	-3	72	-2	76	-1
N7	14	Pure	2.0	82	-6	86	-5	90	-4
	15	TL	2.0	70	-4	74	-3	78	-2
N8	14	Pure	2.5	81	-6	85	-5	89	-4
	15	TL	2.5	69	-4	73	-3	77	-2
N9	24	Pure RDZLA	2.0	80	-4	87	-6.8	89	-8
	25	TL SLA ACTIVE	2.0	78	-6	81	-6.5	84	-7.5

N10	24	Pure RDZLA	2.0	80	-4	83	-5	86	-6
	25	TL RN	2.0	78	-6	82	-6.5	84	-7.5

Los valores obtenidos mediante las mediciones de Osstell y Periotest evidenciaron patrones consistentes en la estabilidad primaria y su progresión en el tiempo. Los implantes de tipo Pure demostraron una estabilidad primaria elevada, con valores iniciales de Osstell superiores a 80 y Periotest menores a -6 en la mayoría de los casos. Por ejemplo, en el paciente N°1, el implante Pure en la pieza 47 inició con un Osstell de 81 y Periotest de -7, alcanzando valores de 84 y -6, respectivamente, a los 30 días y de 87 y -5 a los 90 días. Esto refleja una mejora progresiva atribuible a un adecuado proceso de osteointegración.



Imagen 15. Paciente N° 1. A y B- Datos de Periotest y Osstell a los 30 días. C y D Datos de Periotest y Osstell a los 90 días.

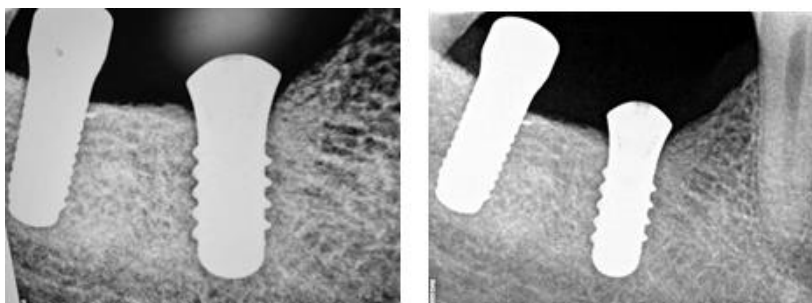


Imagen 16. Paciente N°1. A- Rx a los 30 días. B- Rx a los 90 días.

En contraste, los implantes TL SLA Active exhibieron valores iniciales un poco más bajos, tal como se evidenció en el caso del paciente N°5, donde el implante TL en la pieza 37 registró un Osstell de 70 durante la instalación. No obstante, estos valores se incrementaron de manera constante, llegando a un Osstell de 78 a 90 días, evidenciando la habilidad de estos implantes para ajustarse a las condiciones óseas del paciente.

La evaluación del tejido periimplantario evidenció un impacto considerable en los resultados. Aquellos con tejido periimplantario superior a 2.5 mm, tales como los pacientes N° 3 y 6 mostraron un incremento más significativo en los índices de estabilidad con el paso del tiempo, lo que podría deberse a una mayor capacidad de soporte y regeneración del tejido alrededor. En cambio, la localización

anatómica también influyó en el progreso de la estabilidad. Los implantes implantados en estructuras posteriores (molares) exhibieron un avance más pausado en comparación con los implantados en estructuras anteriores (incisivos o premolares), probablemente a causa de las fuerzas masticatorias más intensas y la variada densidad ósea.

En general, el éxito clínico de los implantes fue elevado, logrando un nivel de osteointegración apropiado en la mayoría de las situaciones. No obstante, se registraron fallos en situaciones independientes. Por ejemplo, a los 17 días, el implante Pure en la pieza 46 del paciente N° 3 mostró un fallo, lo que podría estar vinculado a factores locales o sistémicos que afectan la cicatrización inicial.

Los resultados indican que los implantes Pure y TL SLA Active ofrecen altos niveles de estabilidad y osteointegración, aunque con ligeras diferencias en la rapidez de la progresión. Es crucial considerar las características individuales del tejido y la ubicación del implante al seleccionar el tipo de material. Además, un monitoreo constante mediante herramientas como Osstell y Periotest es esencial para garantizar un adecuado seguimiento clínico y radiográfico.

9.2- Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado permitió evaluar la normalidad y las diferencias entre los tiempos de medición y la relación entre las herramientas utilizadas, Osstell y Periotest, para valorar la estabilidad de los implantes. Los resultados obtenidos ofrecen una visión integral del comportamiento de los implantes a lo largo del tiempo.

En la evaluación de normalidad llevada a cabo mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, se estableció que los datos para ambos métodos de medición y en todos los periodos de análisis (0, 30 y 60 días) muestran valores de p que superan 0.05. Esto corrobora que la información no descarta la hipótesis nula de normalidad, señalando que las mediciones se reparten de manera normal. Este hallazgo corrobora la aplicación de pruebas paramétricas como el ANOVA para analizar las variaciones entre los periodos de tiempo.

El análisis ANOVA para las mediciones de Osstell mostró un valor p de 0.0024, indicando diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos evaluados. Esto implica que las mediciones de estabilidad del implante, según Osstell, cambian de manera relevante con el tiempo. Un valor F de 7.5878 refuerza esta conclusión, sugiriendo que el progreso temporal en la estabilidad

del implante es medible y considerable, posiblemente reflejando un proceso continuo de osteointegración.

En cambio, el ANOVA llevado a cabo para Periotest presentó un valor p de 0.4478, lo que señala que no hay diferencias estadísticamente relevantes entre los tiempos estudiados. Este hallazgo indica que las mediciones de Periotest se mantienen estables con el paso del tiempo, lo que podría atribuirse a una estabilización precoz de los implantes o a que este método no posee la sensibilidad necesaria para identificar variaciones mínimas en la estabilidad.

Respecto a la correlación entre ambas herramientas, se calculó un coeficiente de correlación de -0.2014 entre Osstell y Periotest, con un valor p de 0.2859, lo que señala que no hay una correlación de relevancia estadística entre ambas mediciones. A pesar de que se notó una leve relación inversa, esta no es lo suficientemente sólida para ser considerada significativa. Esto implica que tanto Osstell como Periotest analizan distintos elementos de la estabilidad del implante y podrían ser complementarios en vez de redundantes.

Las mediciones de Osstell evidenciaron una alteración considerable con el paso del tiempo, lo que señala un incremento gradual en la estabilidad del implante, en cambio, las mediciones de Periotest se mantuvieron estables. La ausencia de una correlación relevante entre ambos procedimientos subraya su capacidad para analizar elementos diferentes del mismo proceso, proporcionando una perspectiva más integral de la estabilidad y osteointegración de los implantes. Estos hallazgos subrayan la relevancia de fusionar técnicas de evaluación para un análisis más exacto en el ámbito clínico.

10- Discusión:

Para evaluar clínica y radiográficamente la estabilidad primaria y pronóstico de los implantes de zirconia y titanio fueron realizados controles inmediatos, a los 30 y a los 90 días. Los resultados clínicos y radiográficos no presentaron cambios significativos (acorde a los parámetros de cicatrización); sin embargo, el análisis de la estabilidad con el dispositivo Osstell evidenció variaciones importantes entre los periodos estudiados. Este dato es coincidente con Buser et al. (2017), quienes mencionan que el sistema Osstell muestra mayor sensibilidad para detectar micromodificaciones estructurales.

Wennerberg (2018), plantea que la variabilidad observada con Osstell refleja los procesos dinámicos de remodelación ósea, confirmando la superioridad de este método para capturar cambios sutiles.

Espósito (2019), formula que la variación a 30 y 90 días indica procesos biológicos activos de integración, siendo el Osstell más revelador de estos cambios graduales.

Östman, concluye que Osstell representa el método gold standard en medición de estabilidad implantológica.

Norton (2020), enuncia que la baja sensibilidad del Periotest limita su utilidad como herramienta única de seguimiento.

Cochran (2020), expresa la limitación del Periotest como herramienta única de evaluación. Sus investigaciones previas han señalado que este método presenta menor sensibilidad a cambios incrementales durante la oseointegración.

Albrektsson (2019), argumenta que los resultados confirman la necesidad de métodos múltiples de medición. La disparidad entre Osstell y Periotest sugiere que cada método captura aspectos diferentes de la estabilidad de un implante.

Coincidentemente, Misch (2019) propuso que los resultados subrayan la importancia de considerar múltiples parámetros en la evaluación de la estabilidad de un implante. La variabilidad entre métodos indica que la oseointegración es un proceso multidimensional que no puede reducirse a una única medición.

11-Conclusiones

El análisis realizado permitió evaluar estadísticamente y de manera objetiva las diferencias entre las mediciones de estabilidad y osteointegración de los implantes dentales de titanio y zirconia a lo largo del tiempo, empleando herramientas como Osstell y Periotest.

Los hallazgos evidenciaron que las mediciones de Osstell evidenciaron variaciones importantes entre los periodos estudiados (30 y 90 días), lo que señala un avance gradual en la estabilidad de los implantes a lo largo del tiempo. Esta conducta se debe a la consolidación del proceso de osteointegración, lo que se manifiesta en un incremento constante de los índices de estabilidad con el paso del tiempo. Por otro lado, las mediciones de Periotest no mostraron variaciones importantes entre los mismos periodos, lo que indica que este procedimiento podría no ser tan sensible a las variaciones graduales en la estabilidad inicial de los implantes. Aunque los resultados son prometedores, es importante señalar que la muestra estudiada fue pequeña, lo que limita la generalización de los hallazgos y resalta la necesidad de realizar estudios adicionales con un mayor número de pacientes.

Adicionalmente, se corroboró que las mediciones de Osstell y Periotest no tienen una correlación significativa, lo que señala que ambos instrumentos analizan distintos elementos de la estabilidad del implante y que su empleo en conjunto ofrece una perspectiva más integral del proceso de osteointegración.

Por lo general, a pesar de que ambos materiales (titanio y zirconia) alcanzaron niveles apropiados de estabilidad y osteointegración, la investigación resaltó la relevancia de seleccionar herramientas complementarias para supervisar el avance de los implantes y asegurar resultados ideales en diversos contextos clínicos. Se deduce que el monitoreo constante, la aplicación de métodos de medición combinados y la personalización del tratamiento para satisfacer las necesidades particulares de cada paciente son fundamentales para optimizar el éxito de los implantes dentales a largo plazo.

12-Referencias Bibliográficas

- Abouchenari, A., Tajbakhsh, N., Shahbaz, A., & Alamdari-Mahd, G. (2024). Advancements in dental implant technology: the impact of smart polymers utilized through 3D printing. *Synthesis and Sintering*, 4(2), 108-123.
- Afrashtehfar, K. I., Assery, M. K., & Bryant, S. R. (2021). Aesthetic parameters and patient-perspective assessment tools for maxillary anterior single implants. *International journal of dentistry*, 2021(1), 6684028.
- Agarwal, S., Mistry, L., Mistry, S., Kadam, I., Bhiwapurkar, S., Talekar, S., ... & Mistry, L. N. (2024). The Per-Ingvar Brånemark Era (1929–2014): Evolution of a No Compromise Prosthetic Dental Replacement. *Cureus*, 16(10).
- Agha-Hosseini, F., Mirzaii-Dizgah, I., Shirazian, S., & Javaheri-Mahd, M. (2023). Treating Parafunctional Habits for Alleviating Temporomandibular Disorder and Lower Back Pain: A Phase II Clinical Trial. *Frontiers in Dentistry*, 20.
- Aladawi, A. E., Shalaby, Y. A., & Alabbassy, F. H. (2023). THE COLOR STABILITY OF MULTILAYERED SUPER TRANSLUCENT MONOLITHIC ZIRCONIA (STM-ZR) CEMENTED TO DIFFERENT IMPLANT-ABUTMENT SUBSTRATES AFTER ACCELERATED AGEING IN VITRO. *Alexandria Dental Journal*, 48(1), 154-160.
- Alanazi, S. (2024). Aesthetic problems related to dental implants in the aesthetic zone: A systematic review. *The Saudi Dental Journal*.
- Albrektsson, T., Tengvall, P., Amengual, L., Coli, P., Kotsakis, G. A., & Cochran, D. (2023). Osteoimmune regulation underlies oral implant osseointegration and its perturbation. *Frontiers in immunology*, 13, 1056914.
- Alfaraj, T. A., Al-Madani, S., Alqahtani, N. S., Almohammadi, A. A., Alqahtani, A. M., AlQabbani, H. S., ... & Aljalfan, N. (2023). Optimizing Osseointegration in Dental Implantology: A Cross-Disciplinary Review of Current and Emerging Strategies. *Cureus*, 15(10).
- Al-Faraj, T. M. A., Alsubhi, B. M., Almarhoon, A. N., Almarshoud, A. A., Alqattan, M. S., Alqahtani, S. H., ... & Alwadai, Y. S. (2024). Comparison of Peri-Implant Soft Tissue Around Zirconia and Titanium Abutments in the Aesthetic Zone: A Narrative Review. *Cureus*, 16(7), e65782.
- Aragoneses, J., Valverde, N. L., Fernandez-Dominguez, M., Mena-Alvarez, J., Rodriguez, C., Gil, J., & Aragoneses, J. M. (2022). Relevant aspects of titanium and zirconia dental implants for their fatigue and osseointegration behaviors. *Materials*, 15(11), 4036.
- Avetisyan, A., Markaryan, M., Rokaya, D., Tovani-Palone, M. R., Zafar, M. S., Khurshid, Z., ... & Heboyan, A. (2021). Characteristics of periodontal

- tissues in prosthetic treatment with fixed dental prostheses. *Molecules*, 26(5), 1331.
- Ban, S. (2021). Classification and properties of dental zirconia as implant fixtures and superstructures. *Materials*, 14(17), 4879.
 - Bienz, S. P., Hilbe, M., Hüsler, J., Thoma, D. S., Hämmerle, C. H., & Jung, R. E. (2021). Clinical and histological comparison of the soft tissue morphology between zirconia and titanium dental implants under healthy and experimental mucositis conditions—A randomized controlled clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 48(5), 721-733.
 - Branemark, P. I. (1977). Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw: experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg*, 16, 1-132.
 - Calazans Neto, J. V., Celles, C. A., de Andrade, C. S., Afonso, C. R., Nagay, B. E., & Barão, V. A. (2024). Recent Advances and Prospects in β -type Titanium Alloys for Dental Implants Applications. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 10(10), 6029-6060.
 - Camal Ruggieri, I. N., Cícero, A. M., Issa, J. P. M., & Feldman, S. (2021). Bone fracture healing: perspectives according to molecular basis. *Journal of bone and mineral metabolism*, 39, 311-331.
 - Chiou, L. L., Panariello, B. H., Hamada, Y., Gregory, R. L., Blanchard, S., & Duarte, S. (2023). Comparison of In Vitro Biofilm Formation on Titanium and Zirconia Implants. *BioMed Research International*, 2023(1), 8728499.
 - Choi, S., Kang, Y. S., & Yeo, I. S. L. (2023). Influence of Implant–Abutment Connection Biomechanics on Biological Response: A Literature Review on Interfaces between Implants and Abutments of Titanium and Zirconia. *Prosthesis*, 5(2), 527-538.
 - Chopra, D., Guo, T., Gulati, K., & Ivanovski, S. (2024). Load, unload and repeat: Understanding the mechanical characteristics of zirconia in dentistry. *Dental Materials*, 40(1), e1-e17.
 - Cintra, C. V., Sepúlveda, R. V., Valente, F. L., Reis, E. C. C., & Borges, A. P. B. (2021). CELLULAR INTERACTIONS WITH IMPLANTED SURFACES IN THE LIVING ORGANISM AND OSSEOINTEGRATION OF IMPLANTS. *Revista Saúde e Meio Ambiente*, 12(1), 102-120.
 - Ciocan, L. T., Ghitman, J., Vasilescu, V. G., & Iovu, H. (2021). Mechanical properties of polymer-based blanks for machined dental restorations. *Materials*, 14(23), 7293.
 - Cui, J., Xia, L., Lin, K., & Wang, X. (2021). In situ construction of a nano-structured akermanite coating for promoting bone formation and osseointegration of Ti–6Al–4V implants in a rabbit osteoporosis model. *Journal of Materials Chemistry B*, 9(46), 9505-9513.

- da Hora Sales, P. H., Barros, A. W. P., de Oliveira-Neto, O. B., de Lima, F. J. C., Carvalho, A. D. A. T., & Leao, J. C. (2023). Do zirconia dental implants present better clinical results than titanium dental implants? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 124(1), 101324.
- da Silva, G. J. N. N., Brandolezi, J. R. V., dos Santos, L. E., & Scriboni, A. B. (2024). The importance of red aesthetics in dental implants: a systematic review. *MedNEXT Journal of Medical and Health Sciences*, 5(S4).
- de Freitas, R. B., Aredes, G. D. A., Cicareli, A. J., Idalgo, F. A., & Kassis, E. N. (2023). Dental implant and aesthetics: A systematic review. *MedNEXT Journal of Medical and Health Sciences*, 4(S2).
- de Souza Cavalcante, J. G., Araujo, H. T., dos Santos, N. E. B., Silva, T. R. G., dos Santos, S. C. A. V., Leitão, A. K. A., ... & Feitosa, V. P. (2020). Correlation between parafunctional habits and temporomandibular dysfunction: systematic review. *Brazilian Journal of Development*, 6(12), 103664-103673.
- Deng, J., Joshua Cohen, D., Matias, E. B., Olson, L. C., McClure, M. J., Boyan, B. D., & Schwartz, Z. (2024). Reduced osseointegration in disuse and denervation rat models results from impaired cellular responses to multiscale microstructured titanium surfaces. *Journal of Orthopaedic Research®*, 42(9), 1984-1997.
- Do, T. A., Le, H. S., Shen, Y. W., Huang, H. L., & Fuh, L. J. (2020). Risk factors related to late failure of dental implant—A systematic review of recent studies. *International journal of environmental research and public health*, 17(11), 3931.
- Dobrzański, L. A., & Dobrzański, L. B. (2020). Dentistry 4.0 concept in the design and manufacturing of prosthetic dental restorations. *Processes*, 8(5), 525.
- Dörsam, I., Bauroth, A., Keilig, L., Bourauel, C., & Heinemann, F. (2020). Definition of a drilling protocol for mini dental implants in different bone qualities. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 231, 151511.
- Elaskary, A. (2019). *Advances in esthetic implant dentistry*. John Wiley & Sons.
- Fernandes, P. R. E., Otero, A. I. P., Fernandes, J. C. H., Nassani, L. M., Castilho, R. M., & de Oliveira Fernandes, G. V. (2022). Clinical performance comparing titanium and titanium–zirconium or zirconia dental implants: a systematic review of randomized controlled trials. *Dentistry Journal*, 10(5), 83.
- Fernandes, P. R. E., Otero, A. I. P., Fernandes, J. C. H., Nassani, L. M., Castilho, R. M., & de Oliveira Fernandes, G. V. (2022). Clinical

- performance comparing titanium and titanium–zirconium or zirconia dental implants: a systematic review of randomized controlled trials. *Dentistry Journal*, 10(5), 83.
- Ferretti, M., & Palumbo, C. (2021). Static osteogenesis versus dynamic osteogenesis: A comparison between two different types of bone formation. *Applied Sciences*, 11(5), 2025.
 - French, D., Ofec, R., & Levin, L. (2021). Long term clinical performance of 10 871 dental implants with up to 22 years of follow-up: A cohort study in 4247 patients. *Clinical implant dentistry and related research*, 23(3), 289-297.
 - Galindo-Moreno, P., Catena, A., Pérez-Sayáns, M., Fernández-Barbero, J. E., O'Valle, F., & Padial-Molina, M. (2022). Early marginal bone loss around dental implants to define success in implant dentistry: A retrospective study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 24(5), 630-642.
 - Garcia, D. C., Mingrone, L. E., & Sá, M. J. C. D. (2022). Evaluation of osseointegration and bone healing using pure-phase β -tcp ceramic implant in bone critical defects. A systematic review. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 859920.
 - Gikić, M., Vrbanović, E., Zlendić, M., & Alajbeg, I. Z. (2021). Treatment responses in chronic temporomandibular patients depending on the treatment modalities and frequency of parafunctional behaviour. *Journal of oral rehabilitation*, 48(7), 785-797.
 - Gürkan, A., Tekdal, G. P., Bostancı, N., & Belibasakis, G. N. (2019). Cytokine, chemokine, and growth factor levels in peri-implant sulcus during wound healing and osseointegration after piezosurgical versus conventional implant site preparation: Randomized, controlled, split-mouth trial. *Journal of periodontology*, 90(6), 616-626.
 - Hanawa, T. (2020). Zirconia versus titanium in dentistry: A review. *Dental materials journal*, 39(1), 24-36.
 - Hasan, A. (2022). An Investigation of Factors Affecting Aesthetic Outcome in Dental Implants in The Anterior Maxilla Region.
 - Haugen, H. J., & Chen, H. (2022). Is there a better biomaterial for dental implants than titanium?—a review and meta-study analysis. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(2), 46.
 - Hoellwarth, J. S., Oomatia, A., Tetsworth, K., Vrazas, E., & Al Muderis, M. (2023). Bone density changes after five or more years of unilateral lower extremity osseointegration: Observational cohort study. *Bone Reports*, 18, 101682.
 - Hu, M. L., Lin, H., Zhang, Y. D., & Han, J. M. (2020). Comparison of technical, biological, and esthetic parameters of ceramic and metal-

- ceramic implant-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(1), 26-35.
- Impellizzeri, A., Horodinsky, M., Barbato, E., Polimeni, A., Philippe, S., & Galluccio, G. (2020). Dental monitoring application: it is a valid innovation in the orthodontics practice?. *La Clinica Terapeutica*, 171(3), 260-267.
 - Jaber, M. A., Jaber, A. M., Elameen, A. M., & Elameen, F. M. (2024). Evaluating the Efficacy, Durability, and Clinical Implications of Zirconia vs. Titanium Dental Implants: A Comprehensive Review.
 - Jaber, M. A., Jaber, A. M., Elameen, A. M., & Elameen, F. M. (2024). Evaluating the Efficacy, Durability, and Clinical Implications of Zirconia vs. Titanium Dental Implants: A Comprehensive Review.
 - Jaber, M. A., Jaber, A. M., Elameen, A. M., & Elameen, F. M. (2024). Evaluating the Efficacy, Durability, and Clinical Implications of Zirconia vs. Titanium Dental Implants: A Comprehensive Review.
 - Kohal, R. J., & Dennison, D. K. (2020). Clinical longevity of zirconia implants with the focus on biomechanical and biological outcome. *Current Oral Health Reports*, 7, 344-351.
 - Kühnisch, J., Anttonen, V., Duggal, M. S., Spyridonos, M. L., Rajasekharan, S., Sobczak, M., ... & Tsiklakis, K. (2020). Best clinical practice guidance for prescribing dental radiographs in children and adolescents: an EAPD policy document. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 21, 375-386.
 - Liu, Y., Rath, B., Tingart, M., & Eschweiler, J. (2020). Role of implants surface modification in osseointegration: A systematic review. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 108(3), 470-484.
 - Lorusso, F., Noubissi, S., Francesco, I., Rapone, B., Khater, A. G., & Scarano, A. (2020). Scientific trends in clinical research on zirconia dental implants: A bibliometric review. *Materials*, 13(23), 5534.
 - Maminskas, J., Pilipavicius, J., Stasiunas, E., Baranovas, G., Alksne, M., Daugela, P., & Juodzbaly, G. (2020). Novel Yttria-Stabilized Zirconium Oxide and Lithium Disilicate Coatings on Titanium Alloy Substrate for Implant Abutments and Biomedical Application. *Materials*, 13(9), 2070.
 - Melo-Fonseca, F., Miranda, G., Domingues, H. S., Pinto, I. M., Gasik, M., & Silva, F. S. (2020). Reengineering bone-implant interfaces for improved mechanotransduction and clinical outcomes. *Stem Cell Reviews and Reports*, 16, 1121-1138.
 - Monstaporn, M., Rungsiyakull, C., Jia-mahasap, W., Pleumsamran, N., Mahrous, A., & Rungsiyakull, P. (2021). Effects of bone types on bone remodeling of a dental implant: a review of the literature. *Chiang Mai Dental Journal (CMDJ)*, 42(2), 14-17.

- Morena, D., Leitão-Almeida, B., Pereira, M., Resende, R., Fernandes, J. C. H., Fernandes, G. V. O., & Borges, T. (2024). Comparative Clinical Behavior of Zirconia versus Titanium Dental Implants: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Clinical Medicine*, 13(15), 4488.
- Mulimani, P., Mazzawi, N. A., Goldstein, A. J., Obenaus, A. M., Baggett, S. M., Truong, D., ... & Sniadecki, N. J. (2024). Engineered 3D Periodontal Ligament Model with Magnetic Tensile Loading. *Journal of Dental Research*, 103(10), 1008-1016.
- Neto, J. V. C., Dos Reis, A. C., & da Costa Valente, M. L. (2024). Influence of building direction on physical and mechanical properties of titanium implants: a systematic review. *Heliyon*.
- Nitschke, I., Wendland, A., Weber, S., Jockusch, J., Lethaus, B., & Hahnel, S. (2021). Considerations for the prosthetic dental treatment of geriatric patients in Germany. *Journal of clinical medicine*, 10(2), 304.
- Oladapo, B. I., Kayode, J. F., Karagiannidis, P., Naveed, N., Mehrabi, H., & Ogundipe, K. O. (2022). Polymeric composites of cubic-octahedron and gyroid lattice for biomimetic dental implants. *Materials Chemistry and Physics*, 289, 126454.
- Ou, P., Hao, C., Liu, J., Yang, H., He, R., Zhang, T., ... & Ruan, J. (2021). Evaluation of biocompatibility and osseointegration of Nb-xTi-Zr alloys for use as dental implant materials. *Biomedical Materials*, 16(3), 035020.
- Pandey, C., Rokaya, D., & Bhattarai, B. P. (2022). Contemporary concepts in osseointegration of dental implants: a review. *BioMed research international*, 2022(1), 6170452.
- Pandey, C., Rokaya, D., & Bhattarai, B. P. (2022). Contemporary concepts in osseointegration of dental implants: a review. *BioMed research international*, 2022(1), 6170452.
- Panetta, K., Rajendran, R., Ramesh, A., Rao, S. P., & Aghaian, S. (2021). Tufts dental database: a multimodal panoramic x-ray dataset for benchmarking diagnostic systems. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 26(4), 1650-1659.
- Papachristou, D. J., Georgopoulos, S., Giannoudis, P. V., & Panagiotopoulos, E. (2021). Insights into the cellular and molecular mechanisms that govern the fracture-healing process: a narrative review. *Journal of Clinical Medicine*, 10(16), 3554.
- Pardo-Zamora, G., Ortiz-Ruiz, A. J., Camacho-Alonso, F., Martínez-Marco, J. F., Molina-González, J. M., Piqué-Clusella, N., & Vicente-Hernández, A. (2021). Short dental implants (≤ 8.5 mm) versus standard dental implants (≥ 10 mm): a one-year post-loading prospective

- observational study. *International journal of environmental research and public health*, 18(11), 5683.
- Park, S., Park, J., Kang, I., Lee, H., & Noh, G. (2022). Effects of assessing the bone remodeling process in biomechanical finite element stability evaluations of dental implants. *Computer methods and programs in biomedicine*, 221, 106852.
 - Poli, P. P., de Miranda, F. V., Polo, T. O. B., Santiago Júnior, J. F., Lima Neto, T. J., Rios, B. R., ... & Faverani, L. P. (2021). Titanium allergy caused by dental implants: A systematic literature review and case report. *Materials*, 14(18), 5239.
 - Porenczuk, A., & Górski, B. (2021). Peri-implantitis: A Serious Problem of Dental Implantology. *Advances in Dental Implantology using Nanomaterials and Allied Technology Applications*, 181-223.
 - Prados-Privado, M., Martínez-Martínez, C., Gehrke, S. A., & Prados-Frutos, J. C. (2020). Influence of bone definition and finite element parameters in bone and dental implants stress: A literature review. *Biology*, 9(8), 224.
 - Putra, R. H., Doi, C., Yoda, N., Astuti, E. R., & Sasaki, K. (2022). Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(1), 20210197.
 - Qu, Y., & Liu, L. (2021). Zirconia materials for dental implants: a literature review. *Frontiers in Dental Medicine*, 2, 687983.
 - Ramseier, C. A. (2024). Diagnostic measures for monitoring and follow-up in periodontology and implant dentistry. *Periodontology 2000*.
 - Reda, R., Zanza, A., Galli, M., De Biase, A., Testarelli, L., & Di Nardo, D. (2022). Applications and clinical behavior of biohpp in prosthetic dentistry: A short review. *Journal of Composites Science*, 6(3), 90.
 - Resnik, R. (2020). *Misch's Contemporary Implant Dentistry E-Book: Misch's Contemporary Implant Dentistry E-Book*. Elsevier Health Sciences.
 - Ripszky Totan, A., Imre, M. M., Parvu, S., Meghea, D., Radulescu, R., Enasescu, D. S. A., ... & Pituru, S. M. (2022). Autophagy plays multiple roles in the soft-tissue healing and osseointegration in dental implant surgery—a narrative review. *Materials*, 15(17), 6041.
 - ROBERTS, W. E. (2020). Bone physiology, metabolism, and biomechanics. *Misch's Contemporary Implant Dentistry E-Book: Misch's Contemporary Implant Dentistry E-Book*, 10, 69.
 - Romanos, G. E., Fischer, G. A., & Delgado-Ruiz, R. (2021). Titanium wear of dental implants from placement, under loading and maintenance protocols. *International journal of molecular sciences*, 22(3), 1067.

- Romanos, G. E., Fischer, G. A., & Delgado-Ruiz, R. (2021). Titanium wear of dental implants from placement, under loading and maintenance protocols. *International journal of molecular sciences*, 22(3), 1067.
- Sadowsky, S. J. (2020). Has zirconia made a material difference in implant prosthodontics? A review. *Dental Materials*, 36(1), 1-8.
- Saha, S., & Roy, S. (2022). Metallic dental implants wear mechanisms, materials, and manufacturing processes: a literature review. *Materials*, 16(1), 161.
- Sailer, I., Karasan, D., Todorovic, A., Ligoutsikou, M., & Pjetursson, B. E. (2022). Prosthetic failures in dental implant therapy. *Periodontology 2000*, 88(1), 130-144.
- Sharanraj, V., Ramesha, C. M., Kavya, K., Kumar, V., Sadashiva, M., Chandan, B. R., & Naveen Kumar, M. (2021). Zirconia: as a biocompatible biomaterial used in dental implants. *Advances in Applied Ceramics*, 120(2), 63-68.
- Sharma, S., Kiran, S. R., Kumar, P., Shankar, R., & Upadhyay, A. K. (2024). Per-Ingvar Brånemark (1929–2014): A Homage to the Father of Osseointegration and Modern Dentistry. *Cureus*, 16(9), e68655.
- Steinherr, T. (2024). Implant Materials in Focus: A Comprehensive Review of Zirconia vs. Titanium and Their Impact on Peri-Implant Health. *J Oral Med and Dent Res*, 5(4), 1-7.
- Sun, L., & Hong, G. (2021). Surface modifications for zirconia dental implants: a review. *Frontiers in Dental Medicine*, 2, 733242.
- Terheyden, H., Lang, N. P., Bierbaum, S., & Stadlinger, B. (2012). Osseointegration–communication of cells. *Clinical oral implants research*, 23(10), 1127-1135.
- Tijare, R., Chhabra, K. G., Reche, A., Madhu, P. P., Agrawal, S., & Chandak, V. (2021). Evaluation of Dental Hygiene and Para-functional Habits in Oro-facial Pain among Patients Visiting Sharad Pawar Dental College & Hospital: A Questionnaire Based Cross Sectional Study. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33(45B), 302-307.
- Wang, Z., Zhao, Y., Bai, H., Chang, F., Yang, X., Wang, X., ... & Liu, H. (2024). Bioactive prosthesis interface compositing variable-stiffness hydrogels regulates stem cells fates to facilitate osseointegration through mechanotransduction. *International Journal of Biological Macromolecules*, 259, 129073.
- Wood, P. F., da Costa Fernandes, C. J., de Almeida, G. S., Suter, L. C., de Lima Parra, J. P. R. L., Bezerra, F. J., & Zambuzzi, W. F. (2023). The Action of Angiocrine Molecules Sourced from Mechanotransduction-Related Endothelial Cell Partially Explain the Successful of Titanium in Osseointegration. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(8), 415.

- Xiao, L., Ma, Y., Crawford, R., Mendhi, J., Zhang, Y., Lu, H., ... & Xiao, Y. (2022). The interplay between hemostasis and immune response in biomaterial development for osteogenesis. *Materials Today*, 54, 202-224

13-Anexos:

HISTORIA CLÍNICA DE IMPLANTOLOGÍA

1. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

Nombre: [Nombre Completo]

Edad: [Años]

Género: [M/F]

Documento: [Número]

Fecha de ingreso: [Fecha]

Teléfono: [Contacto]

2. ANTECEDENTES

Personales

Enfermedades sistémicas

Tratamientos médicos

Hábitos: tabaco, alcohol

Médicos

Diabetes

Hipertensión

Cardiopatías

Tratamientos farmacológicos

Odontológicos

Tratamientos previos

Estado periodontal

Higiene oral

3. ODONTOGRAMA

18 17 16 15 14 13 12 11 | 21 22 23 24 25 26 27 28

48 47 46 45 44 43 42 41 | 31 32 33 34 35 36 37 38

4. EXPLORACIÓN CLÍNICA

Análisis oclusal

Dimensión vertical

Relación intermaxilar

Evaluación de tejidos blandos

Capacidad de apertura bucal

5. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

Radiografía panorámica

TAC/CBCT

Modelos de estudio

Análisis de densidad ósea

6. DIAGNÓSTICO

Zona edéntula

Tipo de defecto

Clasificación ósea

Plan de regeneración

7. PLAN DE TRATAMIENTO

Objetivos

Rehabilitación funcional

Estética

Número de implantes

Detalles Técnicos

Tipo de implante

Marca comercial

Dimensiones

Protocolo quirúrgico

8. SEGUIMIENTO

Control postoperatorio

Firma del Profesional: _____

Fecha: _____

Consentimiento Informado

Estimado Paciente(a):

El presente es para invitarle a participar en el estudio el cual tiene como objetivo determinar la estabilidad de dos tipos de implantes, zirconia y titanio a través de una comparación de sus características clínicas y radiográficas a lo largo de la investigación. Para poder participar en la investigación, es necesario que esté enterado sobre los posibles riesgos relacionados a la colocación de implantes dentales y al tratamiento quirúrgico, por lo que usted podría ser susceptible a infecciones locales, eventos secundarios como reacciones adversas al material, dolor postoperatorio, entre otros. Es necesario mencionar que para fines académicos, se utilizarán datos demográficos importantes plasmados en su expediente médico. Es importante también mencionar que la información que usted proporcione será de uso exclusivo del investigador y se mantendrá su debida confidencialidad.

Su participación es voluntaria y puede retirarse del estudio en cualquier momento sin que este afecte de alguna manera. Por participar del estudio usted, no recibirá ningún beneficio, salvo la satisfacción de contribuir con esta importante investigación.

En caso de que el participante experimente algún evento odontológico adverso vinculado con el presente trabajo de investigación será atendido en el marco del Hospital Odontológico Universitario

Si tuviese alguna duda con respecto al estudio puede comunicarse a los siguientes teléfonos _____.

Yo, _____ dejo constancia que se me ha explicado en que consiste el estudio titulado "Implantes de Zirconia VS Implantes de Titanio: Parámetros clínicos, radiográficos y de estabilidad" realizado por el investigador: Martin Villagra Abate, el cual incluye cirugía odontológica con colocación de implantes por medio de cirugía guiada por computador, colocación de implantes, verificación de estabilidad y osteointegración, con anestesia y sutura.

He tenido tiempo y la oportunidad de realizar las preguntas con relación al tema, las cuales fueron respondidas de forma clara. Sé que mi participación es voluntaria, que los datos que se obtengan se manejarán confidencialmente y en

cualquier momento puedo retirarme del estudio. Me han explicado los posibles riesgos que incluyen inflamación de rostro, dolor y fracaso de los implantes.

Comprendo que se me explico que no se revelará ningún dato personal y que toda la información clínica y personal será resguardada con fines académicos y científicos. Por todo lo anterior doy mi consentimiento voluntario para participar en el presente estudio.

Nombre y apellido del participante.

Firma del participante.