

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Facultad de Ciencias de la Salud

Escuela de Odontología



Trabajo de grado modalidad monográfico para obtener el título de:
Doctor en odontología

**Evaluación de la osteointegración y su relación con la superficie del
implante dental**

Sustentantes:

Br: Yanira Estefany Duran Silverio

Br: Joan Carlos Núñez Bobadilla

Asesora temática:

Dra. Laura Morillo

Asesora metodológica:

Dra. Ruth Isabel Gómez Campusano

Santo Domingo, República Dominicana. 2021

Los conceptos emitidos en este trabajo son única y exclusivamente responsabilidad de los sustentantes responsabilidad del autor.

**Evaluación de la osteointegración y su relación con la superficie del
implante dental**

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi madre, por ser incondicional y siempre apoyarme, este logro es más suyo que mío. A mi padre por todo su apoyo. A mi abuela Aida y a mi tía Aida, por siempre estar ahí para mí y ayudarme en todo lo que necesite. Sin ustedes esto no sería posible.

Yanira Duran

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios, pues me ha bendecido en cada paso que doy y ha abierto puertas que en su momento pensé que no se iban a abrir.

A mis compañeros en este camino, Brent, Leticia, Aylin, Carlos, Joan, gracias amigos por hacer este difícil trayecto más llevadero, por darme consejos y por ayudarme siempre. Por todos los buenos momentos y por los no tan buenos.

Gracias a Farlyn Posadas por siempre ayudarme desde el primer día.

Gracias a todos mis profesores por su excelente enseñanza y por aportar su granito de arena para que yo pudiera alcanzar esta meta, en especial a la Doctora Laura Morillo y la Doctora Ruth Gómez por guiarnos y ayudarnos siempre en este último paso.

Yanira Duran

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios porque sin él nada lo podemos lograr, a mis Padres Ángel Núñez y Gilena Bobadilla de manera especial por estar siempre apoyando cada uno de mis proyectos incluso al momento de cambiarme a esta carrera, gracias a su sacrificio hoy esto es posible. También me dedico este trabajo porque en él veo el sacrificio de mucho esfuerzo y ganas de superación.

Joan Núñez

Agradecimientos

En primer lugar, nuevamente las gracias a Dios por permitirme terminar esta etapa de mi vida ayudándome a nunca parar y lograr cada uno de mis sueños sin él nunca esto lo hubiese podido lograrlo, por regalarme este privilegio gracias Dios.

Gracias a mi hermana por siempre estar ahí ayudándome a crecer como persona, gracias a mis abuelos por siempre darme consejos de seguir adelante y estar siempre para mí, gracias a mis demás familiares porque de una manera u otra aportaron su granito de arena para que esto sea posible.

Gracias a Melvin Núñez mi padre por tus palabras de motivación, por cada imagen que me mandabas de que los sueños sí se pueden lograr, siempre y cuando le pongamos empeño y dedicación, por siempre orientarme por ser más que un padre un amigo, mi mejor amigo, este logro va por ti.

Gracias a Gilena Bobadilla mi madre este logro es especialmente tuyo, luchadora incansable gracias por ser más que una madre y enseñarme el valor de la responsabilidad, gracias por preocuparte por mí siempre que no me faltara nada por velar que siempre comiera, por ayudarme a nunca desanimarse y siempre estar en los momentos buenos y no tan buenos, te amo mami.

Gracias en especial a ese ángel que tengo en el cielo mi abuelo don Pasito, sé que desde allá guió cada uno de mis pasos, gracias por siempre inculcarnos ese valor de honestidad, de trabajar con esfuerzo por siempre enseñarnos que el trabajo dignifica el hombre, gracias por transmitirme el donarnos a los demás gracias a ti vino mi amor por ayudar sin recibir nada a cambio, sé que desde el cielo estás compartiendo este logro con nosotros.

Gracias a mis compañeros Yanira, Carlos, Leticia, Aylin, Brent, porque también son parte fundamental de este logro, gracias por siempre ayudarme en mis debilidades por estar siempre que nos necesitábamos, siempre llevaré conmigo cada cosa que nos pasó durante todo este proceso.

Gracias a Ariana Rey por siempre apoyarme sin importar la hora, momento o día, este logro también lo comparto contigo gracias

Gracias a Darell Valdez y Vryam Valdez por siempre estar apoyándome durante este camino son los hermanos mayores que me regaló Dios en esta vida.

Gracias a todos los docentes y colaboradores de la universidad por transmitirme una parte de sus conocimientos, gracias a Ana Sánchez y Ramón Trinidad por siempre estar dispuestos ayudarme durante todo este camino, gracias especiales a la Doctora Laura Morillo y la Doctora Ruth Gómez por guiarnos y ayudarnos siempre en este último paso.

Joan Núñez

Índice

Resumen	1
Introducción	2
CAPÍTULO I-EL PROBLEMA DEL ESTUDIO	4
1.1 Antecedentes del estudio	4
1.1.1 Antecedentes internacionales	4
1.1.2. Antecedentes nacionales	7
1.1.3. Antecedentes locales	7
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3. Justificación	9
1.4. Objetivos	10
1.4.1. Objetivo General	10
1.4.2. Objetivo Específico	10
CAPÍTULO II-MARCO TEÓRICO	11
2.1. Hueso alveolar	11
2.2. Implante dental	14
2.2.1. Diseño de los implantes dentales	17
2.2.2. Materiales de los implantes dentales	19
2.2.2.1. Metales	19
2.2.2.2. Cerámicas	19
2.2.2.3. Polímeros	20
2.2.3. Superficies del implante	20
2.3. Osteointegración	24
2.3.1. Mecanismo de la osteointegración	25
2.3.2. Factores biológicos de la osteointegración	26

2.3.3. Factores mecánicos de la osteointegración	29
2.3.4. Osteointegración según el tipo de superficie	30
2.4. Tendencias futuras de las superficies de los implantes	31
2.4.1. Rugosidad superficial a nivel de nanoescala	31
2.4.2 Recubrimientos biomiméticos de fosfato cálcico en implantes dentales de titanio	32
2.4.3. Incorporación de fármacos biológicamente activos en implantes dentales de titanio	32
CAPÍTULO III- METODOLOGÍA	34
3.1. Tipo de estudio	34
3.2 Variables	34
3.2.1 Variables Independientes	34
3.2.1 Variables dependientes	34
3.3 Criterios de elegibilidad	34
3.3.1 Criterios de inclusión	34
3.4 Diseño metodológico	35
3.4.1 Estrategia de búsqueda	35
3.5 Selección del estudio	38
CAPÍTULO IV-RESULTADOS	40
4.1 Resultados	40
4.2Diagrama de flujo de la búsqueda de literatura y criterios de selección	41
4.3 Resumen descriptivo de las características de artículos incluidos en la revisión	42
4.3.1 Resumen descriptivo de las características de artículos incluidos en la revisión en humanos y animales	42
4.4 Conclusión	46

Referencias bibliográficas	47
Ensayo científico	55
Relevancia de la superficie del implante dental en la osteointegración	55
Referencias bibliográficas del ensayo científico	57

Resumen

Los implantes dentales son aquellos aditamentos metálicos que mediante un proceso quirúrgico son colocados como reemplazos de la porción radicular de un diente perdido. Para que este logre su fijación debe ocurrir una cadena de eventos entre ellos la osteointegración, este proceso no es más que la unión funcional y estructural entre el tejido óseo vital y la superficie del implante dental. El objetivo de este estudio fue evaluar la osteointegración y su relación con la superficie del implante. Mediante la revisión de literatura en distintas bases de datos como PubMed, Google Scholar, SciELO, Este estudio observacional buscó describir la osteointegración y su relación con la superficie del implante, además de describir las diferentes superficies de los implantes e identificar y analizar avances en las investigaciones reportadas en la literatura científica sobre estas superficies y la relación que guardan con la osteointegración. Como resultado de más de 300 muestras obtenidas las superficies rugosas poseen una eficacia mayor al 95% durante los primeros 5 años. Como conclusión las superficies rugosas son las que poseen mayor éxito en su osteointegración ya que inducen la adhesión, colonización y proliferación de las células osteoblásticas.

Palabras Clave: *Dental implant, Surface, Osseointegration, Interface*

Introducción

En los últimos años la odontología ha logrado un gran avance en la ciencia y en la tecnología y su aplicación en el ámbito de la salud, ha propiciado que la evolución en los tratamientos se haya desarrollado de una manera vertiginosa, especialmente en las últimas décadas. Entre estos tratamientos se encuentran aquellos aditamentos que pueden sustituir de una manera u otra ya sea parcial o total a una pieza dental¹.

Uno de estos es lo que hoy conocemos como implantes dentales, los cuales buscan sustituir los dientes perdidos imitando la funcionalidad que poseen las raíces, estos son colocados mediante procesos quirúrgicos en los huesos maxilares para luego colocar sobre ellos coronas o puentes que sustituirán los dientes perdidos. Durante el proceso de colocación existen factores que juegan un papel fundamental en la osteointegración, que pueden ser biológicos o mecánicos².

Durante el proceso de fijación entre el implante y el hueso circundante ocurre un evento denominado osteointegración, el cual permite una unión firme, estable y duradera que se logra mediante la interfase hueso-implante. Esta se caracteriza por las propiedades favorables al crecimiento y formación de nuevo hueso que posee el implante en su superficie y el diseño del implante. Esta interfase favorable va a depender de factores que modulan la respuesta biológica y determinan el éxito de la osteointegración, de los cuales nos enfocaremos en los factores biomecánicos del implante y su superficie³.

La superficie del implante es aquella parte del implante que está creada para estar en relación directa con el hueso, estas las podemos clasificar según su morfología en rugosas, lisas y modificadas, siendo la superficie rugosa la de mayor importancia y las más estudiada actualmente⁴.

La osteointegración es una serie de eventos biológicos en los que se produce hueso alrededor del implante, pero también dichos eventos están relacionados con fenómenos mecánicos de adhesión y contracción. Los implantes de superficie rugosa tienen la particularidad de poder cumplir con los eventos de adhesión y contracción dependiente de la fabricación del mismo.

Existen los implantes de superficie rugosa por adición que son obtenidas cuando se le añaden partículas de titanio o de hidroxiapatita a un núcleo de titanio. Los implantes de rugosidad de sustracción se obtienen fabricando cavidades microscópicas mediante procedimientos físicos y químicos eliminando parte del núcleo del implante⁵. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar la osteointegración y su relación con el implante dental.

CAPÍTULO I-EL PROBLEMA DEL ESTUDIO

1.1 Antecedentes del estudio

1.1.1 Antecedentes internacionales

En el año 2000 Corina et al⁶, realizaron un trabajo para un análisis histológico del tejido óseo y evaluación cualitativa y cuantitativa de la superficie del implante de titanio sometido a carga inmediata cuyo objetivo del mismo fue analizar histomorfométricamente la calidad estructural ósea neoformada en relación con un implante dental expuesto a cargas inmediatas y, por otra parte, evaluar la superficie del mismo según su aspecto cuantitativo y cualitativo en el microscopio electrónico explorador. Se insertó un implante dental de titanio grado 2 de superficie arenada de 4x13mms incorporado a un injerto óseo autólogo, cuatro semanas después de la extracción de un resto residual correspondiente a un incisivo central superior izquierdo. A dicho implante, se le colocó una corona provisional en resina fijada a los dientes adyacentes. Luego de 12 semanas, el paciente regresó a consulta por motivo a un trauma accidental el cual produjo una fractura de la pared ósea vestibular que corresponde al implante, afectando su estabilidad, gracias a esto se sometió a un análisis histológico el tejido que se encontraba alrededor del implante obteniendo como resultados que el mismo se encontraba cubierto de hueso vital compacto con áreas de remodelación, superficies libres de hueso e indicios de reabsorción, dando a demostrar que el implante se encontraba en condiciones estables durante el periodo de cicatrización, lo que indica que puesto bajo carga inmediata y controlado, el implante puede confrontar el proceso de osteointegración.

En el 2010 Vanegas et al⁵, realizaron un artículo para la Revista Cubana de Estomatología cuyo objetivo del mismo fue describir la mecanobiología de la interfase hueso-implante, es decir, el proceso biológico de formación y cicatrización de la interfase hueso-implante dental y los diferentes estímulos mecánicos tanto internos como externos que se encargan de regular la recuperación de los tejidos que han sido lesionados. Por otra parte, realizaron una explicación de la secuencia de los eventos biológicos y bioquímicos que ayudaron a la formación de hueso nuevo en dicha interfase. Como conclusión se determinó que el proceso de formación y cicatrización de la interfase hueso-implante es bastante complejo que

contiene muchos tipos celulares, factores de crecimiento, moléculas, y un conjunto de fenómenos mecánicos gracias a eventos internos y externos.

En el 2010, Arismendi et al⁷, realizaron en la ciudad de Medellín un estudio comparativo de implantes de superficie lisa y rugosa con el objetivo de comparar la osteointegración entre dos grupos de implantes, uno de superficie lisa o maquinada y otro de superficie rugosa o modificada para evaluar su conducta clínica y radiográfica en 3 años y de esta manera definir si existen diferencias estadísticamente importantes. El estudio que se llevó a cabo fue de tipo experimental, comparativo y prospectivo en el cual la muestra fue de 60 implantes en pacientes que necesitaban rehabilitación en un único diente, realizando revisiones periódicas a los 12, 24 y 36 meses posterior a la rehabilitación protésica y tomando radiografías periapicales. Como conclusión se estableció que no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos de implantes en cuanto a las variables de osteointegración y cambios a nivel óseo.

En el año 2011 en la ciudad de Sevilla, Ortiz I⁸, se realizó una tesis doctoral para demostrar la influencia de la superficie de los implantes en la osteointegración mediante un estudio histomorfométrico en animales, en el cual utilizaron 6 conejos blancos de Nueva Zelanda previamente seleccionados, colocados en cuarentena durante 21 días y llevados a un peso ideal. Se colocaron un total de 12 implantes, dos a cada conejo, uno en cada fémur distal. Se utilizó un implante mecanizado de Galimplant tratado con arenado de óxido de aluminio y grabado con ácido nítrico. El implante control fue de Branemark System de superficie mecanizada y tratada posteriormente con arenado de óxido de titanio. El tiempo de duración del ensayo fue de 12 semanas, posterior a ese tiempo se sacrificaron los animales y se procedió a disecar los fémures distales, se sumergieron en formol al 10% durante 2 semanas. Luego de hacer las evaluaciones macroscópicas e histológicas se concluyó que ambos modelos de implantes lograron osteointegración de manera satisfactoria, sin signos de inflamación ni necrosis y la superficie que se obtuvo del arenado con alúmina y grabado con ácido nítrico alcanzó establecer un contacto hueso-implante mayor a la superficie arenada.

En el 2015 López⁹, en la ciudad de Madrid realizó un estudio de la osteointegración y posibles alteraciones provocadas por el empleo de implantes dentales en hueso inmaduro mediante un estudio experimental en mini pigs. Se seleccionaron 10 lechones de 2 meses de edad a los que se mantuvieron en cuarentena durante 15 días para ser preparados antes de la intervención a los cuales se le colocaron 5 implantes de titanio a cada uno en el lado izquierdo, 3 en la mandíbula y 2 en el maxilar. Se sacrificaron a los 2 meses y se recogieron las muestras para colocarlas en formol al 10% para posteriormente enviarlas al laboratorio de histología. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el éxito o fracaso de los implantes con respecto a la localización y al sexo más sin embargo si se encontraron con respecto a la edad, siendo los mini pigs más jóvenes los que presentaron mayor éxito. Como conclusión se determinó que los implantes de titanio que se colocan en el hueso inmaduro se osteointegración de igual forma que en el hueso maduro.

En el 2015, Barfeie et al¹⁰, realizaron una revisión de literatura para la Revista Dental Británica, sobre las características de la superficie de los implantes y su efecto en la osteointegración con el fin de determinar qué superficies de implantes pueden obtener resultados clínicos más favorecedores. La búsqueda se realizó a través de servidores como PubMed, Medline, Scopus y la base de datos de la biblioteca de Cochrane a partir del año 1990 para encontrar literatura relevante sobre la odontología en cuanto a las características del implante. La búsqueda generó alrededor de 38 mil artículos, pasando a ser limitados a ensayos clínicos, estudios observacionales y estudios de laboratorio. Los resultados de dicha revisión literaria fueron contradictorios, pero según algunos estudios sugieren que existe evidencia suficiente de que las superficies rugosas producen resultados favorables en la osteointegración. Se necesitan más investigaciones ya que las influencias de los diferentes patrones de superficie en la osteointegración no están claras, por lo que aún está por ser probado qué características de las irregularidades de superficie son más importantes y que combinación puede proveer una osteointegración más predecible.

1.1.2. Antecedentes nacionales

No se encontraron resultados.

1.1.3. Antecedentes locales

No se encontraron resultados.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad, la sustitución de dientes perdidos o en mal estado con prótesis soportadas sobre implantes de titanio se considera como el tratamiento terapéutico de elección para los pacientes parcial o totalmente edéntulos¹². Por esto, el desarrollo de los implantes y su uso clínico en el tratamiento de los pacientes con diferentes grados de edentulismo ha impactado de manera significativa la odontología de los últimos años. Cabe destacar que los mismos deben reunir una serie de cualidades como biocompatibilidad, estabilidad química, rigidez y elasticidad que facilitan la osteointegración y proporcionan condiciones de carga funcional⁸.

Inmediatamente después de la colocación del implante, ocurren una serie de eventos entre el huésped y la superficie del implante. Esta secuencia de eventos incluye la interacción inicial entre la sangre y la superficie del implante, donde las proteínas y los ligandos son dinámicamente absorbidos y liberados desde la superficie del implante, así como el proceso inflamatorio que es seguido por la formación inicial de hueso alrededor del implante¹³.

La búsqueda experimental y la práctica clínica en la implantología oral ha ocasionado la formación de diferentes tipos de superficies de implantes que mejoran los fenómenos biológicos de la osteointegración y aumentan de manera favorable los resultados clínicos de los implantes en los pacientes¹⁴.

El desarrollo de nuevas superficies de implantes que aumentan selectivamente su rugosidad ya sea con grabado ácido o arenado y su actividad biológica se ha comprobado que tienen una cicatrización superior y adhesión celular ósea lo que incrementa el nivel de la osteointegración⁸. Por todo esto, se considera que la superficie de los implantes contribuye de manera directa en la osteointegración.

Basándonos en lo mencionado anteriormente y según el modelo P.I.C.O “Model Of Clinical Question”, surgen las siguientes interrogantes.

¿Qué relación existe entre la osteointegración y la superficie del implante?

¿Cuáles son los factores biomecánicos involucrados en la osteointegración?

¿Existe relación entre las superficies de los implantes y el éxito de la osteointegración?

1.3. Justificación

En la actualidad, los implantes dentales representan una opción de tratamiento confiable en la rehabilitación de los pacientes parcial o totalmente edéntulos y se han convertido en un procedimiento habitual para el reemplazo de una sola pieza dental en la zona estética. Hoy en día existen alrededor de 1300 sistemas de implantes diferentes, que varían en la forma, dimensión, volumen, material de la superficie, conexión del pilar, diseño de la rosca, topografía de la superficie, química de la superficie, y modificación de la superficie. Las características de la superficie, como la topografía, humectabilidad y los recubrimientos, contribuyen con los procesos biológicos durante la osteointegración al mediar la interacción directa con los osteoblastos del huésped en la formación del hueso, por lo que el objetivo principal de las investigaciones sobre las modificaciones de las superficies de los implantes dentales es facilitar la osteointegración temprana y asegurar un contacto a largo plazo entre el implante y el tejido óseo¹⁵.

La siguiente investigación de literatura se realizó con el fin de determinar los tipos de superficies de implantes dentales que sean más adecuados para lograr una osteointegración óptima. Con esto buscamos al momento de elegir un implante, saber cuáles son los que tienen mejores beneficios tanto para los odontólogos como para el paciente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

1.4.1.1 Evaluar la osteointegración y su relación con la superficie del implante.

1.4.2. Objetivo Específico

1.4.2.1 Identificar los factores biomecánicos involucrados en la osteointegración.

1.4.2.2 Comparar las superficies de los implantes y su relación con el éxito de la osteointegración.

CAPÍTULO II-MARCO TEÓRICO

Existen diversas causas y factores por las que se puede generar la pérdida de una pieza dental, siendo la caries y la enfermedad periodontal las razones principales, además de otras alteraciones como traumatismos, fracturas, tratamientos sin concluir y desgastes¹⁶. Desde el momento en que se produce la pérdida del órgano dental, lo recomendable es rehabilitar los dientes ausentes para recuperar la funcionalidad, una masticación eficaz, la deglución, una fonética adecuada, la estética y un factor muy importante conocido como dimensión vertical. Esto se puede lograr reemplazando la raíz por un elemento que logre obtener estabilidad colocado en el tejido óseo, como el implante dental, que es una estructura artificial con forma de tornillo y fabricado en titanio comercialmente puro.

2.1. Hueso alveolar

El hueso alveolar forma parte de lo que se conoce como periodonto, que son un grupo de estructuras que rodean y brindan sostén al órgano dental, que está constituido por la encía, el ligamento periodontal y el cemento radicular, que, al mismo tiempo, el hueso alveolar se conforma por dos estructuras conocidas como proceso alveolar y cortical alveolar¹⁷.

Se pueden distinguir dos tipos de hueso, esponjoso o trabecular y cortical o laminar. Siendo el primero aquel que brinda protección y soporte, se puede encontrar como compacto o denso. El segundo, se sitúa entre las superficies óseas corticales o compactas y se estructura por láminas intersticiales colocadas de manera supuestas creando tabiques que se conocen como trabéculas que consta de espacios generalmente amplios e irregulares cubiertos por la médula ósea. Los vasos sanguíneos ingresan de manera directa en el hueso esponjoso concediendo un intercambio de nutrientes con los osteocitos¹⁸.

Cuando en este tipo de hueso, dígame, el hueso alveolar, ocurre una lesión como la producida al momento de la colocación de un implante dental, se va reparar siguiendo las fases del proceso de cicatrización del hueso intramembranoso.

El proceso de cicatrización se constituye de varias etapas o fases que se relacionan con un acontecimiento biológico específico:

- Formación del hematoma: durante las primeras 24-48 horas suceden diversos fenómenos debido a alteraciones en el lecho vascular, como la hemorragia en el interior del alveolo y se visualiza en la periferia del coágulo un edema producto de la vasodilatación de los vasos sanguíneos sobrantes del ligamento periodontal. La sangre extravasada se esparce por los espacios trabeculares y periostales produciendo tensión en la zona; luego de varios minutos a la media hora el sangrado se detiene y comienza la coagulación de la sangre y plaquetas, cuando esta se coagula, el hematoma va a estar conformado por componentes hemáticos y exudado de leucocitos. Dentro de las 24-48 horas siguientes se pone en marcha en los tejidos circundantes el proceso inflamatorio que dura alrededor de 7 días.
- Formación de tejido de granulación: se presenta una vez que comienzan a disminuir los signos de inflamación de la etapa anterior. En la primera semana, los leucocitos ingresan dentro del alveolo para excluir restos de bacterias y fragmentos óseos que se han separado de los rebordes de la zona de la lesión, se produce un incremento de los capilares y fibroblastos formados a partir de células del ligamento periodontal. El coágulo lentamente se sustituye por tejido de granulación que toma una apariencia ligeramente blanquecina y que se convertirá en tejido fibroso según la inflamación disminuya.

En los últimos días de la fase o etapa fibroblástica, el tejido conectivo se convierte en tejido fibroso y una significativa cantidad de colágeno se deposita en la brecha de la fractura. Los osteoclastos y los fibroblastos comienzan a formar una matriz de tejido fibroso que se expande más allá de los márgenes de la herida y que usualmente se identifica como callo. Empiezan a surgir focos de osificación por la función de los osteoblastos e inicia la reparación del epitelio mucoso el cual migra en torno del tejido de granulación hasta hacer que los bordes contacten y alrededor de la primera semana los osteoclastos se agrupan a lo largo de la cresta.

- Formación del callo: sucede entre los 10-14 días después de la extracción, el tejido fibroso comienza a reemplazarse por hueso directamente y la deposición de osteoides inicia a lo largo del hueso alveolar. A partir de la tercera semana el coágulo se encuentra completamente organizado con un tejido de granulación maduro y en el margen del alveolo prosigue la formación de hueso inmaduro y osteoide que al pasar del tiempo incrementara desde la base hasta la superficie y desde la periferia hasta el centro. El hueso cortical tolera una remodelación de forma que ya no es una capa densa y la cresta alveolar se ha redondeado, por lo que el área de la herida se encuentra completamente epitelizada.
- Fase de unión ósea: esta fase ocurre entre la cuarta y sexta semana, la cortical del hueso sigue su proceso de reabsorción en las crestas del alveolo y se crea un trabeculado óseo nuevo, pero puede tardar de 4-6 meses para que la cortical ósea revista todo el alveolo.
- Fase de reorientación: puede darse en un año aproximadamente dando lugar a la reorientación de las trabéculas óseas acorde a los requerimientos funcionales. Como el alveolo se rellena de hueso, el epitelio migra a través del hueso, dando cierre al espacio que se encuentra entre los dos márgenes. Luego de 1 año, la única evidencia que se puede encontrar es una cicatriz pequeña sobre el reborde alveolar, lo que nos indica que el hueso ha sido remodelado y cubierto de periostio y mucosa, permaneciendo como único rasgo apreciable unos relieves en la cresta alveolar¹⁶¹⁷.

Las características de la lesión que se causa en el hueso alveolar como resultado del acto quirúrgico de colocación del implante dental establece la factibilidad del proceso de cicatrización y del hueso nuevo. Estas características se encuentran en relación directa con la calidad ósea y el procedimiento quirúrgico a utilizar. Se designa como calidad ósea al vínculo directo entre la cantidad existente de proporción de hueso cortical de la cortical alveolar y la proporción de hueso trabecular del proceso alveolar¹⁹.

La calidad del hueso representa un aspecto muy importante de la implantología dental gracias a que actúa como un indicador factible para el tratamiento y procedimiento de inserción de implantes¹⁹.

En el año 1985 Lekholm y Zarb desarrollaron una clasificación de acuerdo a la calidad del hueso resumiéndola en 4 clases, que son:

- Calidad 1: se constituye por un hueso compacto homogéneo.
- Calidad 2: se muestra una gruesa capa cortical que rodea al hueso trabecular denso.
- Calidad 3: presenta una fina capa de hueso cortical que rodea al hueso trabecular de conveniente resistencia.
- Calidad 4: se constituye de una capa fina de hueso cortical que rodea el núcleo del hueso trabecular de baja densidad con un volumen de médula ósea reducido²⁰.

Estas particularidades del hueso alveolar limitan la interfase hueso-implante siempre que la formación del hueso establezca la esencia del éxito del implante. Cabe destacar, que características más generales de la anatomía del hueso mandibular como las dimensiones de la mandíbula y el maxilar, el volumen de hueso necesario para que el implante sea exitoso, edad del paciente e historial de posibles enfermedades óseas y las maniobras del cirujano, deben ser tomados en cuenta durante la planeación del tratamiento que incluya la colocación de un implante¹⁹.

2.2. Implante dental

El implante dental es un dispositivo metálico biocompatible²¹ que se coloca en el hueso alveolar mediante un proceso quirúrgico y reemplaza la porción radicular de un diente ausente. Este artefacto se compone de varias partes, como el pilar protésico y la prótesis. Como el implante está en íntimo contacto con el tejido óseo, el pilar protésico extiende el implante dental sobre el tejido blando y la junta que es una pieza cuya función es conectar el pilar protésico con la prótesis dental. En ocasiones, la prótesis se puede unir al implante a través de una junta atornillada o cementada, en la primera, se hace uso de un tornillo para adaptar la prótesis mientras que, en la segunda, se emplea el uso de cementos dentales mejorados que se derivan de cementos dentales estándares utilizados en la práctica odontológica¹⁹.

Las partes del implante se dividen en 3, que son:

- Cuerpo: componente esencial del implante desde el punto de vista biológico porque una vez colocado en el hueso proporciona la osteointegración.
- Conexión: componente estructural que posibilita el ajuste de los diferentes aditamentos protésicos que están fijados a través de tornillos en el interior del implante.
- Porción transmucosa o cuello: funciona como conexión entre la porción osteointegrada y las supraestructuras protésicas. Es la parte circular orientada a permanecer en contacto con la mucosa. Su objetivo es favorecer el sellado biológico que debe ocurrir entre la mucosa periimplantaria y la superficie del implante²².

En sus inicios, los implantes dentales eran fabricados de aleaciones y metales como el acero y cromo de alta resistencia, siendo modificados en el 1922 por Strauss quien le añadió a la fórmula molibdeno y carbono, obteniendo como secuelas por el uso de dichas aleaciones corrosiones en el organismo de los pacientes dando como resultado efectos tóxicos. En el 1932 Prange y Erdle patentaron el Vitallium, el cual era una aleación que no contenía hierro, siendo posteriormente utilizado en el 1935 por primera vez como aparato ortopédico en una placa con tornillos. El Vitallium se publicitó como un material biológicamente compatible ideal y no corrosivo para el tratamiento de fracturas en el área de traumatología. Bothe y otros doctores en 1940 en Estados Unidos, examinaron la reacción corrosiva del Vitallium y un metal importado de Rusia que nunca antes había sido estudiado conocido como titanio²³.

- En 1960, Branemark creó un prototipo de implantes con la finalidad de sostener las prótesis de pacientes edéntulos, comenzando la etapa experimental en perros.
- En 1965, se inició la primera fase colocando el primer implante dental en la región anteroinferior de un paciente, obteniendo resultados exitosos.
- En 1975, se efectuaron las fases II y III de manera exitosa en un grupo de envejecientes edéntulos por la razón de que el Consejo Nacional Sueco de Salud y Bienestar aceptó el uso de “puentes anclados en hueso mandibular” como un tratamiento adicional a las prótesis habituales.
- En 1976, se llevó a cabo la fase IV en la población nacional de Suecia después de que el “Sistema Nacional Sueco de Aseguramiento en Salud” entregó los registros para la

comercialización y autorización a la empresa farmacéutica NobelPharma que se encargaría de la fabricación y comercialización de dichos implantes.

- En 1977 se graduó la primera promoción de odontólogos suecos competentes en los implantes con Sistema Branemark.
- En 1985 la Asociación Dental Americana (ADA) aprobó de manera provisional la distribución de los implantes, insumos e instrumental del sistema Branemark en los Estados Unidos.
- En 1985 Moser y Netwig en Alemania, formularon una clase de conexión cónica distinta a la hexagonal clásica de Branemark y lo utilizaron clínicamente en 1987.
- En 1988 se realizó un convenio del NIH (National Institute for Health) en el que se autorizaron varios sistemas de implantes fundamentados en los principios del Sistema Branemark como AstraTech implants, fabricados en Suiza, Nobel Biocare USA Straumann Co. Entre otros que expandieron a nivel mundial la implantología.
- Ya para el 2003, existían 800 fábricas. 220 marcas y 2000 distintos tipos de implantes dentales en el mundo, con varios tipos de materiales, formas, longitudes, diámetros y tratamientos de superficies.
- En el 2004, en Nueva Delhi, India, la FDI desarrollo la primera “Declaración de principios de calidad de los implantes dentales” y en el 2008 en la ciudad de Estocolmo, Suecia se realizó la segunda, en la que se concluyó que²³:
- Los implantes dentales de titanio y sus distintas aleaciones pueden dar resultados clínicos satisfactorios en el hueso preparado adecuadamente desde el punto de vista quirúrgico.
- Se necesitan más pruebas científicas en humanos.
- No se encuentra evidencia científica que indique que una marca de implante dental sea más sobresaliente que el resto.
- En ciertos países, la fabricación y la venta de los implantes se lleva a cabo sin el cumplimiento de normas internacionales, por lo que la FDI sugiere utilizar los sistemas de implantes que tengan estudios clínicos y vayan de acuerdo con las normas internacionales de estandarización²³.

El tipo más común de implante dental es el endoóseo, siendo los de forma de tornillo y forma de cilindro las formas más típicas. El titanio comercialmente puro o la aleación de titanio son los componentes comunes de los implantes dentales debido a su comprobada biocompatibilidad, que se caracteriza por la inexistencia de corrosión y daños del material que pudiera desencadenar reacciones inflamatorias no deseadas, necrosis de los tejidos que se encuentran alrededor o la creación de trombos a causa de una coagulación sanguínea imprevista¹⁸, sin embargo, existen varios materiales alternativos que incluyen cerámicas como óxido de aluminio y otras aleaciones como el oro y níquelcromoevanadio. En general, los implantes endoósseos tienen un recubrimiento que puede comprender titanio pulverizado con plasma o una capa de hidroxiapatita para mejorar la osteointegración temprana²⁴.

2.2.1. Diseño de los implantes dentales

Las características del diseño de los implantes dentales comprenden un factor indispensable que repercute en la estabilidad primaria y la posibilidad de sostener las cargas producidas durante y luego de la osteointegración.

El diseño de los implantes se puede categorizar en dos grupos básicos:

- Microdiseño: abarca la forma del cuerpo del implante, es decir, si es cónico o cilíndrico, el diseño del tornillo, abarcando su ángulo, geometría, profundidad y espesor de las espiras²⁵. El macrodiseño tiene una influencia significativa en la respuesta ósea por lo que el hueso en crecimiento se concentra principalmente en los elementos que sobresalen de la superficie del implante, como las crestas, dientes o el borde de las roscas que presuntamente actúan como elevadores de tensión cuando se transfieren las cargas. Las características de las superficies, como las roscas, se incorporan al diseño para transformar las cargas en otro tipo de fuerza más resistente, es por esto que la mayoría de los diseños de los implantes son roscados, porque la forma de la rosca es de suma importancia para cambiar la fuerza en la interfaz del hueso²⁶.
- Microdiseño: abarca los distintos materiales de los implantes, morfología de las superficies y la clase de revestimiento que es un punto fundamental para determinar el fracaso o el éxito del implante²⁵.

El éxito de los implantes ha salido relacionado de manera directa según algunas investigaciones con ciertos cambios en cuanto a la forma, la longitud y el ancho de los mismos.

Longitud: Es la dimensión desde la plataforma hasta el vértice del implante. Esta va de 6 a 20 milímetros, pero las longitudes más comunes están entre 8 y 15 milímetros. Acorde a investigaciones de implantología, se ha demostrado que los implantes más largos garantizan mayor tasa de éxito y pronóstico, mientras que los implantes más cortos tienen tasas de éxito estadísticamente más bajas debido a la reducción de la estabilidad, que puede explicarse como menor contacto hueso-implante y menor superficie del implante. Sin embargo, son preferidos los implantes cortos o estrechos como solución protésica en aquellas áreas donde el hueso alveolar se encuentra reabsorbido.

- Diámetro: Este se mide desde el punto más ancho de una rosca hasta el punto opuesto del implante y por lo general varía de 3 a 7 milímetros, aunque se puede utilizar implantes de diámetro más estrecho para espacios reducidos. El diámetro del implante se selecciona en función de la cantidad y la calidad del hueso del paciente para obtener una estabilidad óptima y evitar la sobreinstrumentación. Según la bibliografía, las longitudes de los implantes que se utilizan clínicamente oscilan entre los 8 y 12 milímetros.
- Geometría: Una de las principales preocupaciones en cuanto al diseño es la forma del implante, ya que la geometría afecta la interacción entre el hueso y el implante, la superficie, la distribución de fuerzas al hueso y la estabilidad del implante. Por lo tanto, los implantes dentales comerciales se clasifican en diferentes grupos según su forma²⁷.

Los principales tipos de implantes son cilíndricos, cónicos, escalonados, en forma de tornillo y cilíndricos huecos. Varios estudios revelaron que las superficies de implantes cónicos o las superficies con discontinuidades geométricas daban lugar a tensiones más altas que las formas más suaves, como las cilíndricas o en forma de tornillo siendo este el motivo por el cual los implantes roscados cilíndricos son los más utilizados²⁷.

2.2.2. Materiales de los implantes dentales

El oro, la plata, el aluminio, el platino y la porcelana estuvieron entre los primeros implantes industriales que se utilizaron para reemplazar los dientes. La mayoría de estos materiales ya no se utilizan porque ha causado reacciones a cuerpo extraño y reacciones inflamatorias con formación de tejido fibroso²⁸.

Desde el punto de vista químico, los implantes dentales se producen dentro de los siguientes tres grupos: metales, cerámicas y polímeros. De igual manera, también se clasifican por biocompatibilidad según el tipo de respuesta biológica que provocan en la interacción a largo plazo con el tejido del huésped:

- Biotolerantes: el material no es necesariamente rechazado por el tejido del huésped, pero se rodea de una cápsula fibrosa.
- Bioinerte: los materiales permiten una posición cercana de hueso en su superficie.
- Bioactivo: tiene lugar la formación de hueso nuevo en su superficie y el intercambio iónico con el tejido del huésped conduce a la formación de enlaces químicos a lo largo de la interfaz²⁸.

2.2.2.1. Metales

El titanio y las aleaciones de titanio se han convertido en los materiales preferidos de elección para los implantes dentales. El titanio puro forma una capa de óxido superficial inmediatamente alrededor de 9-10 segundos después de la exposición al aire, que puede alcanzar un espesor de entre 2 y 10 nm en un segundo. Esta capa de óxido superficial estable de titanio es biocompatible y proporciona alta resistencia a la corrosión, alta pasividad y resistencia al ataque químico. El módulo de elasticidad del titanio y sus aleaciones es comparable al del hueso²⁸.

2.2.2.2. Cerámicas

El implante completo puede estar hecho de cerámica o los implantes de metal pueden recubrirse con cerámica. La resistencia a la flexión y los diversos grados de solubilidad son las principales preocupaciones. Con respecto a los implantes de cerámica completa, por lo tanto, los implantes de metal recubiertos de cerámica suelen ser la opción preferida. Aunque en un estudio clínico realizado por Hahn y Vassos, se informó que la tasa de éxito de los implantes recubiertos de hidroxiapatita era del 97,8%, la degradación del recubrimiento cerámico, que podría afectar la longevidad y el éxito de estos implantes, ha dado lugar a preocupación²⁸.

2.2.2.3. Polímeros

En el pasado se han probado una variedad de polímeros en la implantología, siendo el poliuretano, el polimetilmetacrilato, fibras de poliamida y politetrafluoroetileno algunos ejemplos. La intención era imitar el micro-movimiento del ligamento periodontal y transmitir el estrés al hueso de una forma más favorable al utilizar estos materiales. Investigaciones han sugerido que no existen diferencias estadísticamente significativas de polímeros en comparación con implantes rígidos, sin embargo, otros estudios han reportado reacciones inmunológicas adversas utilizando polímeros, así como la carencia de adhesión de estos materiales a los tejidos vivos, por lo que ya no se utilizan para recubrir los implantes dentales, sin embargo, en ocasiones se utilizan como componente amortiguador incorporados en algunas estructuras de implantes rígidos²⁵.

2.2.3. Superficies del implante

Las superficies de titanio que existen actualmente se han ido potenciando en los últimos años, favoreciendo el proceso de osteointegración del implante dental, con respecto a las superficies lisas convencionales²⁵. El material idóneo que conformaría la superficie del implante, debería ser que aparte de ser biocompatible, estimula la curación ósea²⁹. Se encuentran distintas morfologías de las superficies de los implantes, dentro de las cuales están las lisas, rugosas y porosas o mecanizadas.

La superficie lisa o sin tratamiento comenzó a utilizarse en la implantología a finales de los años 90. Luego de su fabricación estos eran pasados por un proceso de limpieza, descontaminación y esterilización³⁰, el término de superficie lisa es usado de manera incorrecta ya que este tipo de superficie observada a través de un microscopio, es posible percibir unas ligeras rugosidades, surcos o rayas que se han formado gracias a la herramienta de corte durante su fabricación, debido a esta característica y a las propiedades del titanio, los implantes de superficie lisa proporcionan en las etapas primarias de la osteointegración una difusión de osteoblastos en el sentido de las ralladuras que se formaron en su fabricación. Se encuentran dentro de las superficies lisas, la superficie lisa de mínima rugosidad, que va de 0.5-1 micrón, la de rugosidad intermedia que va de 1-2 micrones y las rugosas que van de 2-3 micrones. Por lo general, una superficie es considerada como lisa cuando su rugosidad es menor a 1 micrón, y las rugosas, aquellas que sobrepasan de 1 micrón²⁵. El inconveniente principal de los implantes de superficie lisa o sin tratamiento es que los osteoblastos desarrollan un vínculo o afinidad hacia las rugosidades, con cierta tendencia a crecer o dirigirse a los surcos que se encuentran en la superficie por lo que, gracias a esto, los implantes de superficie lisa requieren un mayor tiempo para lograr la osteointegración y ser sometidos a una carga protésica³⁰.

Para potenciar la osteointegración, se han realizado una diversidad de tratamientos y modificaciones tanto químicas como físicas a las superficies. Los sistemas que se utilizan para modificar la textura de la superficie de los implantes se pueden categorizar como técnicas que agregan partículas en el biomaterial como fin de recubrimiento, generando así una superficie con prominencias, esta técnica es denominada de adición, siendo ejemplo de esta los recubrimientos con hidroxiapatita y fosfato de calcio y deposición por medio de pulverización de spray de plasma de Titanio y deposición de iones³⁰.

Las técnicas que remueven el material de la superficie formando agujeros y porosidades es la que se conoce como mecanismo o técnica de sustracción, como ejemplo de este mecanismo se encuentra el pulido eléctrico o mecánico, el chorreado con arena, grabado ácido y la oxidación³⁰.

Dentro de los diferentes métodos de tratamiento de superficies encontramos:

- Mecanizado: Los implantes son expuestos a un proceso de limpieza, pasivación, descontaminación y esterilización, más, sin embargo, su superficie no se modifica.
- Pulverización con plasma: Este es uno de los métodos más usuales, en el cual se utilizan polvos de distintas sustancias que son calentadas a altas temperaturas y luego son colocados en la superficie para crear recubrimientos entre 30 y 50 micras. Esta técnica proporciona una superficie rugosa cuya rugosidad media es de 7 micrones e incrementa el área de superficie del implante hasta 6 veces. Las partículas de titanio que son colocadas sobre la superficie del implante, se condensan y se fusionan, desarrollando de esta manera un recubrimiento de plasma de titanio pulverizado (TPS).
- Arenado o chorreado de arena: La superficie del implante es transformada a través de la proyección de partículas duras como la de alúmina a altas velocidades. La rugosidad está sujeta al tamaño de la partícula, el tiempo, la presión y la distancia a la superficie del implante. Dentro de los beneficios de esta técnica está un reforzamiento en la adhesión, la proliferación y la diferenciación de los osteoblastos.
- Grabado ácido: Este método consiste en incrementar el grosor de la capa de óxido y la rugosidad por inmersión del implante metálico en una solución ácida, que erosiona la superficie generando micro porosidades con tamaños que oscilan entre 0.5 y 2 micrones. De los beneficios principales de los tratamientos con ácido es que brindan una rugosidad homogénea, mayor área de superficie activa y refuerzan la adhesión de células, logrando así la osteointegración.
- Arenado con partículas de cerámica y grabado ácido: El principal motivo para la fusión de estos dos métodos es que el chorreado forma una rugosidad idónea y facilita la fijación mecánica, en tanto que, el grabado ácido disminuye las elevaciones que se crean y potencia la adhesión de proteínas. El grabado ácido remueve algunas capas atómicas de la superficie y disminuye la capacidad de contaminación de las partículas que sobran del sistema de limpieza, ya que interviene en el proceso de limpieza de la superficie. Los agentes de grabado ácido más comunes son el ácido nítrico, clorhídrico, sulfúrico y sus combinaciones. El sistema más utilizado es el de doble grabado ácido, que se realiza en dos fases, la primera, es la inmersión de los implantes en soluciones de ácido clorhídrico, sulfúrico, nítrico y

fluorhídrico. La segunda, el implante es nuevamente sumergido en una solución acuosa de ácido nítrico que equilibra la capa de óxido de titanio superficial. El arenado se lleva a cabo a través de la propulsión de partículas de distintos tamaños de sílice, alúmina y óxido de titanio. La técnica de arenado con partículas de cerámica y grabado ácido, o LA, mezcla las ventajas de las técnicas de chorreado y grabado ácido, y presentan la opción más favorable de capacidad de humectabilidad y buen ángulo de contacto.

- Anodización: Es un proceso electroquímico en el que el implante es sumergido en un electrolito, al tiempo que se utiliza una corriente eléctrica, generando micro porosidades de diversos diámetros y un incremento de la capa de óxido. El principal beneficio de la técnica de anodización abarca una biocompatibilidad elevada, unión aumentada y proliferación celular.
- Recubrimiento: Es posible recubrir los implantes dentales con una amplia variedad de materiales y moléculas. Cuando se recubre la superficie con fosfato de calcio, se producen superficies bioactivas que potencian el contacto hueso-implante. También, los iones de fluoruro, pueden inducir el incremento de la calcificación del hueso. Por ende, los recubrimientos incrementan la diferenciación celular osteoblástica y la expresión de genes osteoblásticos específicos.
- Modificación química: Existen dos tipos de alteraciones químicas que son la adición de los compuestos inorgánicos, como el fosfato de calcio (brinda propiedades osteoconductoras) y la hidroxiapatita, y la adición de compuestos orgánicos, como los factores de crecimiento. Este mecanismo se fundamenta en la formación de fluorapatita como resultado de la interacción del fluoruro y la hidroxiapatita que está presente en el tejido óseo, seguido de la proliferación de osteoblastos. Recubrimientos inorgánicos de fosfato de calcio: Se aplican frecuentemente como recubrimientos sobre la superficie del implante con el propósito de combinar la fuerza metálica de los metales con las propiedades biológicas de la cerámica de fosfato de calcio. Estos recubrimientos conducen a un aumento del contacto entre el hueso y el implante impulsando así la osteoconducción y la fijación del implante. A nivel comercial, el sistema más fructífero es la técnica de pulverización de plasma gracias a su alta velocidad de deposición y su capacidad para cubrir grandes áreas. Sin embargo, la concentración de calcio no tiene efectos relevantes en el fortalecimiento de la osteointegración en las

superficies modificadas. Recubrimiento orgánico con biomoléculas: los implantes que son químicamente modificados con biomoléculas inmovilizadas sobre la superficie del mismo, que provocan respuestas celulares que más tarde establecerán la adhesión celular gracias a que las proteínas sirven como transporte para la fijación celular²⁵.

2.3. Osteointegración

El Dr. Per Invar Branemark, un anatomista al que se le acredita como la persona que acuñó el término de “osteointegración”. En 1952, Branemark junto con su equipo estaban trabajando en el laboratorio de microscopía vital, en 1960 en el laboratorio de biología experimental de la universidad de Goteberg Suecia y en 1978 en el Instituto de biotecnología aplicada de Goteberg. El motivo principal del estudio de su grupo fue comprender el mecanismo de curación ósea y la respuesta ósea a las lesiones térmicas, mecánicas y químicas mediante el uso de la microscopía vital³¹.

En su estudio, las cámaras de titanio se utilizaron para colocar el microscopio vital en el peroné de un conejo. Mientras este se recuperaba, Branemark observó que las cámaras de titanio se encontraban firmemente adheridas al hueso y con esta observación llegaron a la conclusión de que el titanio estaba firmemente integrado al hueso. Al observar estas propiedades, la integración entre el hueso y el tornillo de titanio se denominó “osteointegración” y en el 1965, se trató el primer paciente humano edéntulo mediante el uso de tornillos de titanio denominado implante dental mediante la reconstrucción de arcos edéntulos reabsorbidos mediante injertos de hueso tibial autólogo³¹.

La palabra osteointegración proviene de la palabra griega “osteon” que significa hueso, y la palabra “integrare” que significa hacer un todo. En 1969, Branemark lo definió como “un contacto directo entre el hueso y los implantes metálicos, sin capas de tejidos blandos interpuestas”. Más tarde, en 1977 se modificó a una conexión estructural y funcional directa entre el hueso vivo ordenado y la superficie de un implante portador de carga³¹.

La osteointegración no es más que el proceso de unión funcional y estructural natural entre el tejido óseo vital y la superficie del implante dental³², el éxito de dicha unión o interfase hueso-implante va a depender de diferentes componentes biológicos y sistémicos del paciente, así como de las propiedades y superficies del implante¹⁸.

El éxito de la osteointegración se debe a otros procesos biológicos previos como la osteoconducción y la osteoinducción, siendo la osteoinducción un proceso en el cual las células primitivas indiferenciadas son estimuladas de alguna forma para desarrollarse en el linaje de las células formadoras de hueso³³, gracias a las células formadoras de hueso se realiza la deposición de nuevo hueso conocido como osteogénesis. Por otra parte, el término de osteoconducción se puede definir como crecimiento de hueso en una superficie, por lo que una superficie osteoconductora es aquella que permite el crecimiento óseo en su superficie³³. Dicho fenómeno va a depender potencialmente de la biocompatibilidad del material y las propiedades de la superficie. Como resultado de la colonización de la superficie del implante por parte de las células osteoprogenitoras, se crea una interfase de contacto entre el implante y los tejidos circundantes¹⁸.

El contacto entre el implante y los tejidos puede ser de dos maneras:

- Contacto con el hueso o tejido duro: este tipo de contacto y la superficie del implante es capaz de formar una matriz extracelular de unión fuerte, tanto funcional como estructural que aumenta al pasar del tiempo, promueve la osteogénesis reparativa en la interfase y facilita la retención del implante como consecuencia de su mineralización.
- Contacto con el tejido fibroso o suave: las células epiteliales crean un collar fuerte en torno al implante que escasea de signos de respuesta inflamatoria y produce una capa de tejido conectivo poco vascularizada en las proximidades de la superficie del implante dental a partir de la cual se inicia la regeneración tisular¹⁸.

En el 1981, Albrektsson y otros colaboradores plantearon un total de 6 elementos fundamentales para lograr una óptima osteointegración en el que se incluye el material del implante, la técnica quirúrgica, el estado del hueso, las condiciones de carga del implante, la calidad superficial del implante y el diseño macroscópico y dimensional del implante³⁴.

2.3.1. Mecanismo de la osteointegración

Posterior a la colocación quirúrgica de los implantes en la ubicación endóstica, el hueso traumatizado alrededor de los implantes comienza el proceso de cicatrización de la herida³¹.

Lo podemos dividir en 3 fases:

- Fase inflamatoria: en primer lugar, tenemos los eventos vasculares que es cuando las plaquetas entran en contacto con superficies sintéticas, liberando serotonina e histamina, lo que provoca una mayor agregación plaquetaria y trombosis. La cascada de coagulación se inicia tan pronto la sangre entra en contacto con proteínas o un material extraño que cause la coagulación de la sangre. En segundo lugar, los eventos celulares, que no son específicos al principio y consisten principalmente en neutrófilos que alcanzan su punto máximo durante los 3 a 4 días de la cirugía, pero hacia el final de la primera semana, la respuesta inflamatoria generalizada se vuelve de naturaleza más específica y consiste principalmente en un número creciente de linfocitos y macrófagos.
- Fase proliferativa: Durante esta fase, se produce un crecimiento vascular hacia el interior de los tejidos vitales circundantes, un proceso llamado neovascularización. El metabolismo de las células inflamatorias locales, los fibroblastos, las células progenitoras y otras células locales crea un área de relativa hipoxia en el área de la herida que provoca que las células mesenquimales locales se diferencian en fibroblastos, osteoblastos y condroblastos. Estas células depositan una matriz extracelular y, finalmente, se forma un callo fibrocartilaginoso que se transforma en callo óseo. El hueso inmaduro inicial se llama hueso tejido
- Fase de maduración: el hueso de tejido de aposición se deposita sobre la estructura de hueso necrótico en el espacio periimplantario que resultó del trauma operatorio por células mesenquimales diferenciadas en el tejido de granulación en avance. Este proceso ocurre al mismo tiempo que la osificación del callo fibrocartilaginoso.

- La reabsorción simultánea de estas trabéculas "compuestas" y el hueso recién formado, junto con la deposición de laminillas concéntricas maduras, eventualmente da como resultado una remodelación ósea completa, dejando una zona de hueso laminar vivo que es continua con el hueso basal circundante³¹.

2.3.2. Factores biológicos de la osteointegración

El proceso biológico que se encarga de formar la interfase hueso-implante para posteriormente alcanzar la osteointegración se realiza a través de 4 etapas, estando cada una de ellas vinculada a un acontecimiento biológico determinado¹⁸.

Estos eventos biológicos son:

- Formación del hematoma: al momento de la colocación del implante se produce el sangrado en el lugar de la implantación. La sangre consta de glóbulos rojos, plaquetas y leucocitos, pero estos dos últimos son los responsables del inicio del proceso de cicatrización³⁵. Con el sangrado se inician los sucesos biológicos que terminan con la cicatrización de la herida. En la parte inicial de la cicatrización se inicia con la constricción de los vasos sanguíneos rotos y la posterior formación de un tapón plaquetario que frena el flujo sanguíneo³⁶. A pesar de que la formación del coágulo sanguíneo es fundamental para la etapa inicial de la cicatrización, su eliminación es indispensable para la formación de tejido nuevo, por lo que alrededor del tercer día posterior a la colocación del implante, el coágulo se destruye mediante un proceso que se conoce como fibrinólisis³⁷.
- Fibrinólisis: Proceso también conocido como degradación del coágulo, es esencial que para que aquellas células que reparan los tejidos que están lesionados exista una vía que les permita avanzar a través del coágulo y de esta manera trasladarse hacia la superficie del implante. Dicha vía es obtenible a través de la degradación de fibras de fibrina que se encuentran en los vasos sanguíneos³⁸. Este proceso es el responsable de la eliminación del exceso de fibrina que se localiza en los alrededores de los vasos sanguíneos lesionados, que, en conjunto con un grupo de células, se encargan de remover bacterias y limpiar la interfase. Las próximas etapas de la cicatrización son activadas siempre y cuando se genere una

limpieza de la interfase de todos los desechos biológicos. Luego de esto se le da inicio a la creación del tejido de granulación³⁹.

- Fibroplasia y Angiogénesis: cerca del cuarto día de la cicatrización, se inicia un proceso llamado fibroplasia, que se encarga de sustituir el coágulo de fibrina por una nueva matriz extracelular, que se hace cargo de facilitar la migración de las células osteoprogenitoras. a medida que el proceso de cicatrización continua, la matriz de fibrina se sustituye por una matriz de colágeno⁴⁰. Entre el séptimo y décimo día de cicatrización, varios fibroblastos de los que se encuentran en la herida pasan a transformarse en mioblastos, que permiten generar fuerzas de contracción causantes de la contracción de la herida. Dicha contracción da respuesta al trabajo que realizan los fibroblastos de juntar los márgenes de la herida para que la velocidad de la cicatrización aumente. En la fase final de la fibroplasia, la cantidad de fibroblastos y mioblastos que se encuentran presentes empieza a reducirse como consecuencia de la apoptosis celular^{39 40}. La angiogénesis, es un proceso paralelo a la fibroplasia debido a la necesidad de restablecer la red vascular en la zona afectada y de igual forma, la distribución de alimento y oxígeno para los tejidos nuevos. Este proceso facilita el crecimiento y formación de los vasos sanguíneos a partir de la migración y proliferación de células endoteliales a través de la arteriogénesis, que es un fenómeno que induce la expansión de los vasos sanguíneos que ya existen a partir de la creación de vasos colaterales que son aquellos que hacen posible la recuperación del abastecimiento sanguíneo en la zona de la lesión. Los nuevos vasos sanguíneos que se crearon proveen nutrientes y el oxígeno que se necesita para la gran cantidad de células en el nuevo tejido⁴¹. Al igual que los fibroblastos, las células endoteliales que tienen presencia en la angiogénesis, entran un estado de muerte programada en el transcurso de las próximas etapas de formación de los nuevos tejidos³⁹.
- Modelado óseo: Es aquel proceso que inicia cuando se termina el proceso de recuperación del suministro de sangre, iniciando así, un recambio de la matriz provisional de tejido conectivo que se sintetiza por las células osteoprogenitoras y que termina con la creación de un nuevo hueso. A pesar de que la recuperación del tejido óseo a lo largo de la nueva estructura vascular comienza 21 días después de la lesión, las células osteoprogenitoras empiezan a aparecer desde el tercer día³⁷.

La osteogénesis o formación de hueso, inicia a partir de estructuras vasculares. Las células osteoprogenitoras se trasladan y se recopilan en las proximidades de un capilar en donde empiezan a diferenciarse en osteoblastos y secretan fibras de colágeno pequeñas, desordenadas y que dejan espacios amplios alrededor del capilar, cuando esto sucede, algunos osteoblastos se transforman en osteocitos que segregan factores de inhibición que reducen la tasa de formación de tejido óseo. Cuando esta deposición logra alcanzar los 20 mm de altura inicia la mineralización. Esta mineralización conocida como osteoide se produce entre las veinticuatro y setenta y cuatro horas luego de su formación y se especifica por la nucleación de cristales de fosfato de calcio y su transformación en hidroxiapatita. El proceso de regeneración ósea podría durar de 2 a 6s meses⁴².

Junto con el modelado óseo culmina el proceso biológico que interviene en interfase hueso-implante, pero, existen otros factores como la adhesión celular, la migración y proliferación de células y la acción de las cargas internas y externas que se encuentran directamente relacionadas con la respuesta mecánica de la interfase¹⁸.

2.3.3. Factores mecánicos de la osteointegración

Existen unos eventos biológicos, que están en íntima relación con unos factores mecánicos causados por la actividad celular, por las proteínas y las cargas externas que son esenciales para la recuperación de los tejidos. Estos eventos son los que en la interfase hueso-implante permiten la regeneración de los tejidos lesionados y la posterior formación ósea alrededor del implante. Estos son:

- Fenómeno de adhesión: son los que se producen por la fijación de células a un sustrato, que, durante la cicatrización de la superficie, este sustrato podría ser la superficie del implante, los tejidos que ya existen, o los que aún están en proceso de formación. La adhesión se realiza en dos partes, en la primera, inicia la interacción físico-química entre las células y la superficie, y la segunda, que tarda varias horas en la cual sucede una interacción proteica entre la célula y el sustrato⁴³.
- Fenómeno de contracción: se produce cuando las células son trasladadas hacia un sustrato. Esto sucede como consecuencia de la migración celular durante la fibroplasia, la

angiogénesis y el modelado óseo³⁷. En la fibroplasia y el modelado óseo, los fibroblastos y las células que son osteoprogenitoras se van a adherir a la red de fibrina y empiezan a trasladarse a través de ella para intentar colonizar la superficie del implante. Mientras se están trasladando, se producen tensiones sobre las fibras que posiblemente pueden llegar a contraer la red y separarle del implante dental⁴⁴. Cualquier intento de migración celular sobre la red de fibrina será inválido si no existe una adhesión celular adecuada porque esta es una condición necesaria para que pueda existir la migración de las células sobre un sustrato³⁵.

- Fenómeno de activación: son aquellos en los que cuando están presente a una carga externa, incitan la actividad metabólica esencial para generar cambios estructurales en la matriz extracelular. Este fenómeno es llevado a cabo en la fase culminante de la cicatrización de la interfase y establece lo que se conoce como mecanotransducción ósea, que es un proceso por el que las células de la matriz ósea detienen los estímulos mecánicos externos que se crean en respuesta a unas señales biológicas que inducen la producción o degradación de la matriz, siendo los osteocitos los encargados de generar dicha señal^{42 45}.

2.3.4. Osteointegración según el tipo de superficie

Al colocar un material en el organismo, se producirá una respuesta biológica que estará mediada por la interacción del implante a través de su superficie, buscando lograr un alto porcentaje de contacto hueso-implante que nos brinde un anclaje suficiente del mismo, el cual será un factor determinante en la osteointegración. Existen pocos estudios que evalúen la osteointegración en base a cada tipo de superficie, pero, de las investigaciones realizadas se inclinan más hacia las superficies rugosas, demostrando que las células osteoblásticas se adhieren con mayor rapidez a estas superficies que a las lisas²⁷.

Las superficies rugosas inducen la adhesión, la colonización y la proliferación de los osteoblastos, ya que dicha rugosidad repercute en la morfología de los mismos. En las superficies lisas y mecanizadas, los osteoblastos se encuentran en un contacto directo con la superficie, siendo células delgadas y bien extendidas que cubren un área más extensa que las superficies rugosas⁴⁶.

Se ha comprobado, que la participación de distintos ácidos sobre la superficie del implante, potencia en gran manera la osteointegración. Por esto, las superficies tratadas con grabado ácido incrementa las propiedades osteoconductoras y aumenta la adhesión de las células osteogénicas dando como resultado que sobre la superficie del implante ocurra una formación directa de hueso⁴⁷. En cuanto a las superficies de titanio anodizadas, se ha observado una mayor tasa de éxito clínico en estas en comparación con las superficies mecanizadas, ya que dan como resultado un fuerte refuerzo de la respuesta ósea⁴⁸.

Según estudios realizados con implantes de superficie recubierta con plasma de titanio pulverizado, se demostró que la osteointegración en la interfase hueso-implante, se formó más rápido que con implantes de superficie lisa que presentan una rugosidad media de 0.2 micrones⁴⁷.

Para finalizar, se considera que, los implantes dentales con microrugosidades, comparados con los implantes dentales lisos o mecanizados, incrementan la osteointegración debido a que obtienen de forma más inmediata la osteointegración, presentan un alto porcentaje de tejido óseo en unión directa con el implante dental e incrementa la resistencia al aflojamiento, por lo que es necesario la aplicación de fuerzas de torsión mayores para la extracción²⁸.

2.4. Tendencias futuras de las superficies de los implantes

Para mejorar la osteointegración a corto y a largo plazo de los implantes, se ha de considerar algunas estrategias, por lo que las tendencias a futuro se refieren a las modificaciones de la rugosidad de la superficie a nivel de nanoescala para promover la adsorción de proteínas y la adhesión celular, como los recubrimientos de fosfato de calcio para potenciar la osteoconducción y la incorporación de fármacos biológicos para acelerar el proceso de curación ósea en el área periimplantaria⁴⁸.

2.4.1. Rugosidad superficial a nivel de nanoescala

La química y la rugosidad de las superficies de los implantes juegan un papel importante en los eventos biológicos que siguen a la implantación. Sin embargo, las superficies a menudo se desarrollan utilizando un enfoque empírico con pruebas in vitro e in vivo.

La mayoría de las superficies disponibles actualmente tienen topografía aleatoria con una amplia gama de espesores, desde nanómetros hasta milímetros, pero se desconoce el papel biológico exacto de estas características debido a la ausencia de superficies estandarizadas con topografía repetitiva a nivel nanométrico. Dichas superficies estandarizadas son capaces de promover la posición ósea temprana en los implantes⁴⁹.

Solo unos pocos estudios han informado modificaciones en la rugosidad y la química a escala nanométrica de manera reproducible. Los estudios experimentales in vitro han demostrado que la unión de las células osteoblásticas se mejora en estructuras de escala submicrométrica, pero no en superficies lisas. Este proceso de fijación selectiva puede resultar en la mejora de la cicatrización inicial alrededor de los implantes dentales⁴⁹.

2.4.2 Recubrimientos biomiméticos de fosfato cálcico en implantes dentales de titanio

Científicos han desarrollado un nuevo método de recubrimiento inspirado en el proceso natural de la biomineralización para contrarrestar los defectos de los recubrimientos de hidroxiapatita pulverizados con plasma. En este método, se realiza una precipitación de cristales de apatita de fosfato de calcio sobre la superficie de titanio a partir de fluidos corporales simulados formando un recubrimiento a una temperatura ambiente. El tiempo requerido para este recubrimiento es relativamente corto y el proceso presenta una alta eficacia. La estabilidad mecánica del recubrimiento de fosfato de calcio necesita de una superficie rugosa de titanio para asegurar la estabilidad mecánica del recubrimiento⁵⁰.

La osteointegración de los implantes de titanio recubiertos con fosfato de calcio biomimético solo ha sido investigado en modelos preclínicos, obteniendo como resultados en dichos estudios un mayor contacto hueso-implante con este tipo de recubrimiento que en los implantes de titanio sin recubrimiento. Sin embargo, la osteointegración de los implantes de titanio recubiertos biomiméticamente aún no se ha comparado con otros tratamientos de superficie en modelos preclínicos⁵¹.

2.4.3. Incorporación de fármacos biológicamente activos en implantes dentales de titanio

Las superficies de los implantes de titanio se pueden recubrir con agentes estimulantes de hueso, como los de crecimiento, para mejorar el proceso de la curación del hueso localmente, siendo los candidatos más prometedores para este fin las proteínas morfogenéticas óseas, el factor de crecimiento derivado de plaquetas y los factores de crecimiento similares a la insulina⁴⁵.

La incorporación de fármacos antirresortivos, que son aquellos que intervienen sobre los osteoclastos limitando el proceso de resorción ósea, estabilizando e incrementando ligeramente el volumen óseo⁵⁰, como son los bifosfonatos, podrían ser de gran relevancia en aquellos casos clínicos en los que hay escasez de soporte óseo como sería el caso donde se encuentra una cresta alveolar reabsorbida. Recientemente se ha comprobado que un bifosfonato incorporado a implantes de titanio incrementa la densidad ósea localmente en la zona periimplantaria⁵¹, aunque, algunos estudios experimentales in vivo han demostrado la ausencia de efectos negativos, pero solo un ligero aumento en la osteointegración de los implantes⁴⁵.

El principal problema radica en el injerto y la liberación sostenida de fármacos antirresortivos en la superficie del implante de titanio. Debido a la gran afinidad química de los bifosfonatos por las superficies de fosfato cálcico, la incorporación del fármaco antirresortivo en los implantes dentales podría lograrse utilizando el método de recubrimiento biomimético a temperatura ambiente. Sin embargo, se debe determinar la dosis ideal del fármaco antirresortivo porque el aumento de la densidad ósea periimplantaria depende de la concentración de bifosfonato⁵².

CAPÍTULO III- METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio

Según las características de la investigación que se realizó respecto a su alcance, fue un estudio explicativo, de acuerdo a la intervención del investigador con los fenómenos, es un estudio observacional, respecto al origen de los datos en el tiempo corresponde a un estudio retrospectivo.

3.2 Variables

3.2.1 Variables Independientes

- Superficie del implante (Rugosa, lisa)
- Factores biomecánicos (Formación del hematoma, Fibrinólisis, Angiogénesis, Modelado óseo, Adhesión, Contracción, activación).

3.2.1 Variables dependientes

- Osteointegración

3.3 Criterios de elegibilidad

3.3.1 Criterios de inclusión

- Artículos de investigaciones publicados en los últimos 21 años (2000-2021).
- Artículos de investigaciones con resúmenes disponibles publicados en inglés y español.
- Artículos de investigaciones con mención de sus autores.
- Artículos de investigaciones con mención del país donde fue realizado.
- Artículos de investigaciones con estrecha relación con el tema.

3.3.2 Criterios de exclusión

- Artículos de investigaciones sin acceso completo disponible.
- Artículos con menos de 10 bibliografías.

3.4 Diseño metodológico

Revisión de literatura descriptiva o narrativa sobre la osteointegración y su relación con la superficie del implante reportados en la literatura científica por medio de una búsqueda sistematizada.

3.4.1 Estrategia de búsqueda

Se utilizó como estrategia de búsqueda the P.I.C.O.S Model of Clinical Question la cual nos ayudó a guiar la estrategia de búsqueda a partir de la pregunta de investigación ¿Cómo es la osteointegración y su relación con la superficie del implante? En este caso, las siglas P da significado a la población, la letra I se refiere a la intervención de la población, la letra C es para dar lugar a una comparación, la letra O se refiere a los resultados esperados, la letra S es el tipo de estudio, en este caso se utilizaron estudios observacionales, explicativos y retrospectivos.

Tabla 1. Tabla PICOS

P	I	C	O	S
Población	Intervención	Comparación	Resultados	Estudios
Adultos y animales	Colocación del implante dental.	Tipos de superficies	Éxito de la osteointegración	Estudios observacionales, explicativos y retrospectivos

Se realizó una búsqueda exhaustiva en diferentes bases de datos electrónicas tales como: PudMed, Google Scholar, Scielo. Para la estrategia de búsqueda se utilizó las siguientes palabras claves: “Dental implant surface”, “Osseointegration” y la traducción de estas mismas palabras al español, las cuales previamente serán consultadas utilizando descriptores como DeCS para asegurar la relación de las palabras claves, se utilizará MeSH. La estrategia de búsqueda será llevada a cabo solamente en inglés y español.

Se utilizó diversos aditamentos para la estrategia de búsqueda de los artículos como operadores booleanos AND, OR, para especificar y relacionar los términos e ir reduciendo la búsqueda.

Tabla 2. Tabla estrategia de búsqueda en base de datos.

Base de Datos	Búsqueda
PubMed	<p>"Implantes dentales" [Términos MeSH] Y "Propiedades de la superficie" [Términos MeSH] Y "Osteointegración" [Términos MeSH] Y "Interfaz hueso-implante" [Términos MeSH].</p> <p>"Dental Implants"[MeSH Terms] AND "Surface Properties"[MeSH Terms] AND "Osseointegration"[MeSH Terms] AND "Bone-Implant Interface"[MeSH Terms]</p>
Google Scholar	allintitle: Dental implant surface
Scielo	(("dental implant surface") AND ("osseointegration"))

3.5 Selección del estudio

Se realizó una revisión bibliográfica a través de la búsqueda avanzada en distintas bases de datos, las cuales fueron: *PubMed*, *Google Scholar*, *SciELO*, para la búsqueda se utilizaron las siguientes palabras clave: “Dental implant surface”, “osseointegration”, “Dental Implants”, “Surface Properties”, “Bone-Implant Interface”, “. Los estudios seleccionados cumplieron con las características ya mencionadas en los criterios de elegibilidad con relación al año de publicación y al idioma en el que se encuentren. Además de la estrecha relación que debe tener el estudio con el tema de investigación que evitó la desviación del tema.

En la selección se leyeron los títulos y resúmenes de forma independiente y en caso de ser necesario y en algunos casos se leyeron los artículos completos con el fin de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con el objeto de trabajo para la posterior comparación de artículos seleccionados a los cuales se le aplicaron los criterios de inclusión. Además, se identificó cuál fue la pregunta principal de cada artículo para así poder analizar el propósito de este, y posteriormente las preguntas específicas.

Tras la búsqueda inicial se analizaron los artículos de forma crítica teniendo en cuenta la estructura del artículo, la relevancia de la información que aportaron, calidad con la que indicaron las ideas del mismo, análisis de argumentos, enfoque: ¿Qué quiere decir el autor?, grado de validez que depende de la originalidad de los artículos, evaluando los artículos a través de la lectura crítica, generalmente estos elementos estaban en la introducción de los artículos, se seleccionaron artículos sin cantidad máxima, de los cuales se continuó con la exclusión por no considerarse relevantes para el objetivo de esta revisión.

Los artículos que se analizaron tuvieron una reflexión académica y su marco metodológico del planteamiento bastante claro, es decir que respondieron a preguntas: ¿Cómo?, ¿Dónde?, ¿Por qué? ¿Y para qué? Se analizó si la metodología de distinción del problema es adecuada, además si aplicó correctamente al ámbito requerido, de esta forma se examinaron los resultados fundamentales, y la relación que estos tuvieron con la metodología.

Posterior a la revisión de los resultados de cada artículo, se analizaron las conclusiones de los mismos, donde se tomaron en cuenta las mejoras y comentarios pertinentes de los artículos⁵³.

El proceso de análisis fue por etapas dependiendo las partes que componían el artículo analizado. A través de la lectura de los artículos se seleccionaron las palabras o términos no comprendidos y se buscó su significado en diccionarios para que no existiera ninguna laguna o se permitiera la tergiversación de la información, teniendo en cuenta que las palabras científicas tienen significados muy precisos. Finalmente se seleccionaron los artículos donde el total fueron 10 artículos.

Después de la realización del análisis de los artículos con ayuda del diagrama de flujo de PRISMA⁵⁴ que permitió sistematizar la estructura de análisis y ayudó a llevar un control de los artículos seleccionados que fueron analizados con mayor profundidad. Todos los artículos seleccionados y utilizados en el documento fueron citados de manera directa o indirecta, citados con el gestor de referencia Mendeley que además sirvió para guardar la búsqueda y como biblioteca de artículos. (Capítulo 4.1.)

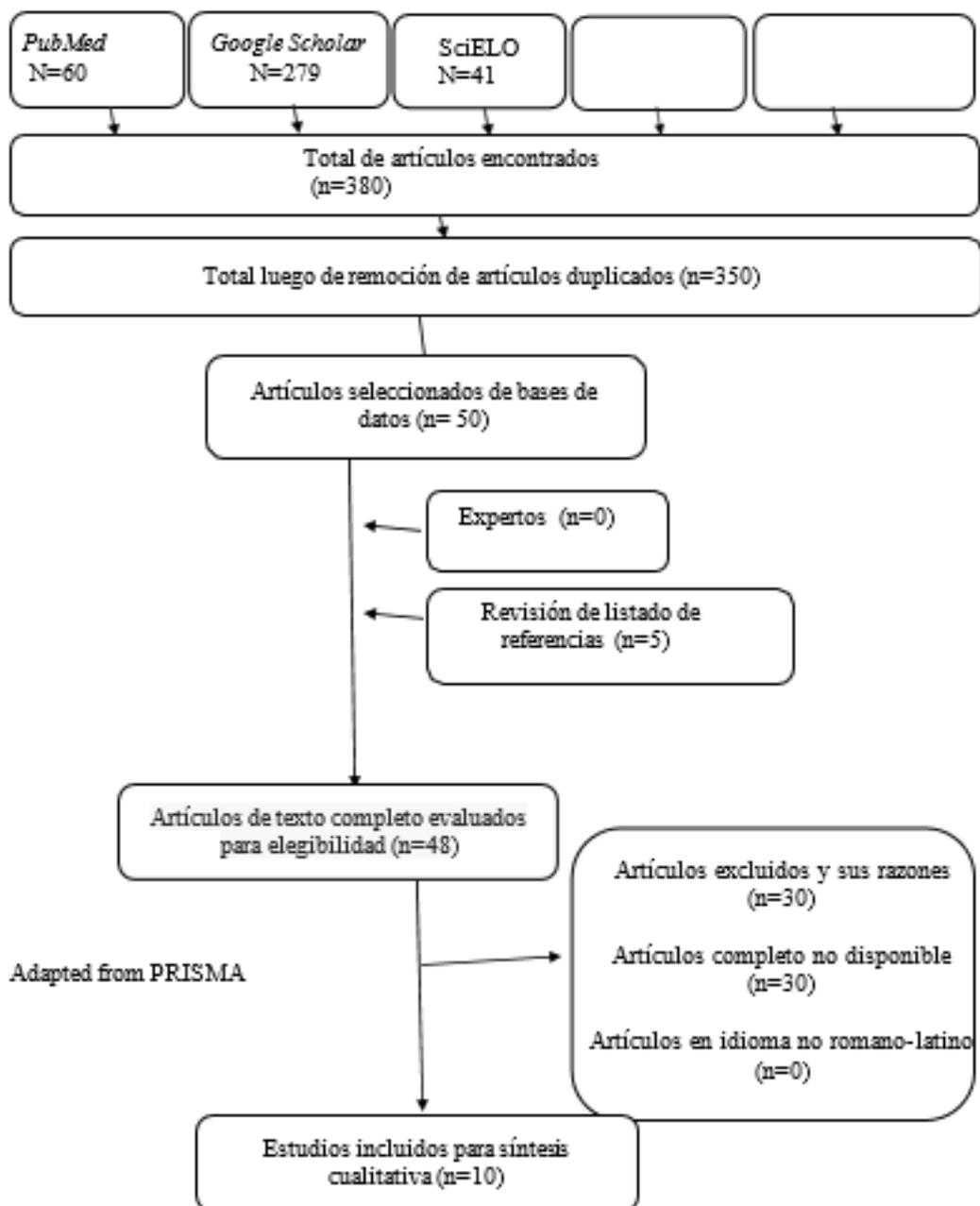
Se realizó la recolección de información con la tabla de resumen descriptiva de las características de los artículos incluidos en la revisión, incluyó el autor, año, país, el diseño del estudio, población, edad promedio, intervención, resultados y conclusión. (Capítulo 4.2

CAPÍTULO IV-RESULTADOS

4.1 Resultados

De 380 citas encontradas en diferentes bases de datos, 10 fueron seleccionadas con un total de más 300 muestras extraídas de seres humanos y animales, evaluando las siguientes variables, osteointegración, superficies rugosas de implantes dentales y superficies mecanizadas de implantes dentales. De los artículos analizados 5 pudieron identificar que las superficies rugosas que eran recubiertas con “grabados ácidos, arenados, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido nítrico” estos aumentaban las superficies rugosas de los implantes y mejoraba la respuesta osteogénica de igual manera la unión mecánica hueso-implante. La tasa de osteointegración de estos implantes está relacionada con la composición y rugosidad. Las superficies rugosas poseen una eficacia mayor a los 95% durante los primeros 5 años⁴⁵. En múltiples artículos pudimos observar que la acción de diferentes ácidos sobre las superficies rugosas favorece la osteointegración, con lo cual el grabado ácido mejora las propiedades osteoconductoras con una mayor adhesión a las fibrinas y de las células osteogénicas, como resultado esto forma una relación directa entre el hueso sobre la superficie del implante⁸.

4.2 Diagrama de flujo de la búsqueda de literatura y criterios de selección



4.3 Resumen descriptivo de las características de artículos incluidos en la revisión

4.3.1 Resumen descriptivo de las características de artículos incluidos en la revisión en humanos y animales

Autor, año y país	Diseño de estudio	Objetivo principal del estudio	N total	Humanos o animales	Edad promedio	Grupo control	Intervención	Resultados	Conclusión
Velazco et al ⁵⁷ 2016 España	In vivo	Determinar la importancia de la rugosidad de la superficie de los implantes dentales sobre la osteointegración en conejos	20	Animales (conejos)	Sin rango de edad	No hubo grupo control	Colocación de 40 implantes de titanio con superficies tratadas por métodos de granallado, grabado ácido, anodización por chispa y mecanizado.	Al analizar la rugosidad de la superficie con el perfilómetro, los modelos granallados presentaron valores de rugosidad superficial estadísticamente significativos y las imágenes hisológicas mostraron mayor cantidad de contacto entre el hueso y el implante de 4 a 10 semanas para todas las muestras estudiadas, demostrando así la capacidad de inducir de manera compacta o parcial la formación de hueso nuevo.	Los tratamientos con chorreado o arenado aumenta la rugosidad del implante creando una deformación local lo que producirá una fijación más firme y una mejor osteointegración.

Gustavo et al ⁶⁰ , 2017 Brasil	Estudio observacional retrospectivo	Realizar una evaluación retrospectiva de las tasas de supervivencia y éxito de los implantes dentales con superficies grabadas con ácido después de 8-10 años de funcionamiento.	44	humanos	Sin rango de edad	Sin grupo control	Se colocaron 183 implantes con superficies grabadas con ácido clorhídrico y sulfúrico, la mayoría de estos colocados en la región posterior de la mandíbula.	De 183 implantes colocados se perdieron 5 implantes y 178 sobrevivieron, obteniendo un éxito clínico en 155 implantes. La tasa de supervivencia fue del 97.3% y la tasa de éxito 84.7%.	Los implantes dentales con superficies grabadas con ácidos mostraron alta tasa de supervivencia y éxito después de un periodo de 8 a 10 años de funcionamiento.
Silveira et al ⁵⁸ , 2016 Brasil	In vivo e in vitro	Analizar la osteointegración en los implantes dentales con superficies biomiméticos que contienen calcio, magnesio y flúor.	18	Animales (conejos)	6 meses	Sin grupo control.	Se colocaron 108 implantes en la tibia de los conejos, 3 en la tibia derecha y 3 en la izquierda. Cada conejo recibió dos implantes de cada tratamiento de superficie.	Las tres superficies mostraron características homogéneas. Las superficies inmersas en una solución ácida tienen una rugosidad más adecuada para la osteointegración que la de los implantes mecanizados.	Las superficies de las muestras con tratamiento ácido, deposición de fluoruro y deposición de calcio y magnesio tienen una rugosidad similar.

Barbosa et al ⁵⁹ 2015 Brasil	Experimental	Evaluar la estabilidad y osteointegración de implantes con diferente humectabilidad mediante análisis de frecuencia de resonancia y análisis histomorfométrico después de 2 y 4 semanas en tibias de conejo.	16	Animales (conejos)	Sin rango de edad	Sin grupo control.	Se colocaron 32 implantes y se dividieron en dos grupos, según el tratamiento superficial: arenado de partículas abrasivas seguidas de grabado ácido (neoporos) y Neo mantenidas en una solución isotónica de cloruro de sodio al 0.9% (acqua). Luego de la colocación ambos grupos se dividieron según los períodos experimentales de 2 y 4 semanas.	No se encontraron diferencias significativas entre ambas superficies del implante.	Ambas superficies del implante pudieron producir una integración ósea del implante similar cuando se realizó una instrumentación ósea cortical normal.
Víctor Silva y cols ² 2017 Cuba	Revisión de literatura	Describir los diferentes tipos de superficies en los implantes dentales.	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No se especifica	No se especifica	Los implantes de superficie anodizada logran una osteointegración sostenida a largo plazo.

Iván Ortiz García ⁸ 2011 España	Experimental	Evaluación del grado de osteointegración de los diferentes tipos de implantes y su análisis comparativo del grado de osteointegración, contacto hueso-implante entre las superficies arenada y nanoestructuradas.	6	Animales (Conejos)	6 meses	Implantes de superficie mecanizada y tratada con arenado de óxido de titanio	Colocación de 12 implantes autorrosantes de superficie mecanizada y tratada con arenado de óxido de aluminio y grabado con ácido nítrico.	Ambos tipos de implantes lograron osteointegrarse de manera satisfactoria.	Ambos tipos de implantes con semejanzas en la composición y geometría no presentaron signos de toxicidad, inflamación fibrosa o necrosis demostrando su biocompatibilidad y consiguiendo una osteointegración satisfactoria.
Marta Díez ²⁶ 2014 España	In vitro	Analizar y comparar las características y la composición de las superficies de tres implantes de titanio tratados con grabado ácido.	6	Los estudios no fueron en humanos o animales.	No poseen rango control	Sin grupo control	Cultivo de células madres mesenquimales de pulpa dental procedente de molares de individuos sanos.	Todos los implantes evaluados presentaron a nivel microscópico la presencia de características de rugosidad y la formación de microporosidades de varios tamaños y diámetros en las tres superficies tratadas con grabado ácido.	Los implantes estudiados presentaron microporos de diferentes diámetros con una composición de titanio, carbono y oxígeno y las

										células mesenquimales de la pulpa se adhieren a la superficie después de los 7 días para obtener el proceso de osteointegración.
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4.4 Conclusión

Hoy en día existe un gran número de superficies para implantes dentales disponibles en el mercado, obteniendo en la mayoría de estas una eficacia clínica aprobada mayor del 95% en 5 años. Sin embargo, el desarrollo de las superficies ha sido relativamente empírico, requiriendo diversas pruebas *in vitro* e *in vivo*, siendo mayoría de estas pruebas no estandarizadas utilizando diferentes superficies, poblaciones celulares o modelos animales⁴⁵.

En conclusión, según lo expuesto, quedó comprobado que las superficies rugosas son las que tienen mayor éxito a corto y a largo plazo en la implantología oral, esto se debe a que este tipo de superficie induce la adhesión, colonización y proliferación de las células osteoblásticas, obteniendo así, una adhesión de mayor rapidez en comparación con otros tipos de superficies¹⁴. Tomando en cuenta que para lograr la osteointegración en la interfase hueso-implante deben ser considerados los factores biomecánicos que son los que nos brindan resultados de solidez y perdurabilidad a largo plazo de los implantes y el desempeño mecánico de los materiales con que estos son fabricados⁵⁶.

A manera de recomendación, se sugiere la realización de nuevos estudios experimentales y comparativos entre los diferentes tipos de superficies de implantes dentales que ayudan a desarrollar el mecanismo de osteointegración en cada una de ellas, para, al momento de elegir un implante para cada paciente tener los conocimientos necesarios sobre cuál sería el más favorable y de esta manera lograr un incremento del desarrollo de la implantología oral futura.

Referencias bibliográficas

1. Solaberrieta Mendez E, Minguez Gabiña R, Barrenetxea Apraiz L, Etxaniz Mendiguren O, Goicoechea Larracochea N, Otegi Olaso JR, et al. Integración de la ingeniería en la odontología. *Dyna*. 2015;90(1):26–9.
2. Martínez-González JM, Cano Sánchez J, Campo Trapero J, Martínez-González MJS, García-Sabán F. Diseño de los implantes dentales: Estado actual. *Av periodoncia implantol oral*. 2002;14(3):129–36.
3. Vanegas J. Generalidades de la interfase hueso-implante dental. *Ebscohost.com*. 2010.
4. Propdental. Clasificación de la superficie de los implantes dentales. *Implantedental.net*. 2013.
5. Venegas J, Parra N, Da. G. Mecanobiología de la interfase hueso-implante dental. *Rev. Cubana Estomatol*. 2010;47(1):14-36.
6. Corina M, Savoldi E. Implante de titanio sometido a carga inmediata: Análisis histológico del tejido óseo y evaluación cualitativa y cuantitativa de la superficie del implante. *Av periodoncia implantol oral*. 2000;12(1):29–34.
7. Arismendi J, Mesas A. Estudio comparativo de implantes de superficie lisa y rugosa. *Medellín*. 2009.
8. Ortiz García I. La Influencia de la Superficie de los implantes en la Oseointegración: Un estudio Histomorfométrico en animales. 2011
9. Jorge CS. Estudio de la osteointegración y posibles alteraciones provocadas por el empleo de implantes dentales en hueso inmaduro. Estudio experimental en mini pigs. 2003;208.
10. Ogle OE. Implant Surface Material, Design, and Osseointegration [Internet]. Vol. 59, *Dental Clinics of North America*. W.B. Saunders; 2015.

11. Blázquez-Hinarejos M, Ayuso-Montero R, Jané-Salas E, López-López J. Influence of surface modified dental implant abutments on connective tissue attachment: A systematic review [Internet]. Vol. 80, Archives of Oral Biology. Elsevier Ltd; 2017.
12. Rodas D, Urdanivia RN, Javier Prado U, Borja Lima S. Historia de la implantología y la oseointegración, antes y después de Branemark. Vol. 23. 2013.
13. Junker R, Dimakis A, Thoneick M, Jansen JA. Efectos de los recubrimientos de superficie de implantes y composición sobre integración ósea: revisión sistemática [Internet]. Vol. 20, Clinical Oral Implants Research. 2009.
14. Blanco López P, Monsalve Guil L, Matos Garrido N, Moreno Muñoz J, Nuñez Márquez E, Velasco Ortega E. La oseointegración de implantes de titanio con diferentes superficies rugosas. Av Odontoestomatol. 2018;34(3):141-9.
15. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, Beck-Broichsitter B, Jung O, Precht C, et al. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. Biomed Res Int. 2016;2016.
16. Samuel LL, Céspedes NL, Villalón MF. La pérdida dentaria. Sus causas y consecuencias. Revista de Medicina Isla de la Juventud. 2018;19(2).
17. Castro P. Fisiología de la cicatrización del alveolo. Academia.edu [Internet].
18. Baró M. cicatrización alveolar en ratas. 2010
19. Wong C. Control de la cicatrización de los tejidos duros y blandos en el postoperatorio de terceros molares. Junio de 2015.
20. Vanegas J, Generalidades de la interfase hueso-implante dental [Internet]. 2009
21. Romero M, Veloso C. Evaluación de la calidad del hueso en sitios de implantes dentales con tomografía computarizada [Internet]. 2017.
22. Oshida Y, Tuna EB, Aktören O, Gençay K. Sistema de implante dental. Int J Mol Sci. abril de 2010;11(4):1580-678.

23. Martínez J, Cano J. Diseño de los implantes dentales: Estado actual.2010.
24. de Revisión Rodas-Rivera AR, Rodas Rivera R, Danny Rodas Rivera Jr. José Urdanivia RN, Javier Prado U, Borja Lima S. Historia de la implantología y la oseointegración, antes y después de Branemark. Vol. 23. 2013.
25. López BP, Guil ML, Garrido MN, Muñoz MJ, Márquez NE, Ortega VE. La oseointegración de implantes de titanio con diferentes superficies rugosas Osseointegration of titanium implant with several rough surfaces.
26. Medialdea M. Estudio comparativo de tres superficies de implantes dentales. [España]: universidad complutense de madrid; 2014.
27. Steigenga JT, Al-Shammari KF, Nociti FH, Misch CE, Wang HL. Diseño de implantes dentales y su relación para el éxito de los implantes a largo plazo. *Implant Dent.* 2003;12(4):306-17.
28. Gaviria L, Salcido JP, Guda T, Ong JL. Tendencias actuales en implantes dentales. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2014;40(2):50.
29. Barfeie A, Wilson J, Rees J. Superficie del implante características y sus efectos sobre la osteointegración. *Nat Publ Gr.* 2015;
30. Gandhi Vidyamandir M, Vaidya P, Mahale S, Kale S, Patil A. Osteointegración: una revisión. *Artic IOSR J Dent Med Sci [Internet].* 2017.
31. Blanco López P, Monsalve Guil L, Matos Garrido N, Moreno Muñoz J, Nuñez Márquez E, Velasco Ortega E. La oseointegración de implantes de titanio con diferentes superficies rugosas. *Av Odontoestomatol.* 2018;34(3):141-9.
32. Albrektsson T, Johansson C. Osteoinducción, osteoconducción y osteointegración. *Eur Spine J.* 2001;10: S96-101.
33. Ortiz I. La influencia de la superficie de los implantes en la tesis doctoral. [España]: Universidad de Sevilla; 2011.

34. Acosta JCV, Parra NSL, Garzón-Alvarado DA. Mecanobiología de la interfase hueso-implante dental. *Rev. Cubana Estomatol.* 2010;47(1):14-36.
35. Minors DS. Hemostasia, sangre, plaquetas y coagulación. *Anaesth Intensive Care Med.* mayo de 2017;8(5):214-6.
36. Dimitriou R, Tsiridis E, Giannoudis P V. Conceptos actuales de aspectos moleculares de la curación ósea. *Injury.* diciembre de 2015;36(12):1392-404.
37. Lijnen HR, Leuven KU. Aspectos básicos y clínicos de la fibrinólisis y trombólisis. 2009.
38. Aukhil I. Biología de la cicatrización de heridas. *Periodontol 2000.* 2010;22(1):44-50.
39. Biología celular de cicatrización de heridas gingivales [Internet]. [citado 26 de julio de 2021].
40. Traini T, Assenza B, Roman FS, Thams U, Caputi S, Piattelli A. Patrón microvascular óseo alrededor de dientes cargados implantes en un modelo canino. *Clin Oral Investig.* junio de 2009;10(2):151-6.
41. Sikavitsas VI, Temenoff JS, Mikos AG. Biomateriales y mecanotransducción ósea. *Biomaterials.* 2001;22(19):2581-93.
42. Bershinsky AD, Ballestrem C, Carramusa L, Zilberman Y, Gilquin B, Khochbin S, et al. Montaje y función mecano sensorial de adherencias focales: experimentos y modelos. *Eur J Cell Biol.* 7 de abril de 2006;85(3-4):165-73.
43. Davies JE. Adhesión ósea en superficies naturales y biomateriales. *Biomaterials.* diciembre de 2007;28(34):5058-67.
44. Stanford CM, Schneider GB. Comportamiento funcional del hueso alrededor de los implantes dentales. *Gerodontology.* 2004;21(2):71-7.

45. Le Guéhennec L, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Tratamientos superficiales de titanio dental implantes para una rápida osteointegración. *Dent Mater.* julio de 2009;23(7):844-54.
46. Rocci A, Martignoni M, Gottlow J. Carga inmediata de Brånemark System® TiUnite TM e implantes de superficie mecanizada en la zona posterior mandibular: un ensayo clínico aleatorio de composición abierta. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003;5(SUPPL. 1):57-63.
47. Anselme K, Bigerelle M, Nol B, Iost A, Hardouin P. Efecto del sustrato de titanio ranurado en humanos crecimiento de células osteoblásticas. *J Biomed Mater Res.* 15 de junio de 2002;60(4):529-40.
48. Wang XX, Yan W, Hayakawa S, Tsuru K, Osaka A. Apatite deposition on thermally and anodically oxidized titanium surfaces in a simulated body fluid. *Biomaterials.* 1 de noviembre de 2003;24(25):4631-7.
49. Barrère F, Van Der Valk CM, Meijer G, Dalmeijer RAJ, De Groot K, Layrolle P. Osteointegración del revestimiento de apatita biomimético aplicado sobre Implantes metálicos densos y porosos en fémures de cabras. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater.* 15 de octubre de 2003;67(1):655-65.
50. Erviti J. Utilización de fármacos para la osteoporosis [Internet]. 2010
51. Josse S, Faucheux C, Soueidan A, Grimandi G, Massiot D, Alonso B, et al. Fosfatos de calcio químicamente modificados como nuevos materiales para la administración de bisfosfonatos. *Adv Mater.* 18 de agosto de 2004;16(16):1423-7.
52. Peter B, Pioletti DP, Laïb S, Bujoli B, Pilet P, Janvier P, et al. Sistema de administración de fármacos de fosfato de calcio: influencia del zoledronato local liberación sobre la osteointegración del implante óseo. *Bone.* enero de 2005;36(1):52-60.

53. Garcés Cano JE, Duque Oliva EJ. Metodología para el análisis y la revisión crítica de artículos de investigación. innovar [Internet]. 2007.
54. Martínez J, Cano J. Diseño de los implantes dentales: Estado actual. 2010.
55. Blanco López P, Monsalve Guil L. La oseointegración de implantes de titanio con diferentes superficies rugosas. Av Odontoestomatol. 2018;34(3):141-9.
56. Van der Meulen MCH, Huiskes R. ¿Por qué la mecanobiología? Un artículo de encuesta. J Biomech. 2002;35(4):401-14.
57. Velasco E, Monsalve-Guil L, Jimenez A, Ortiz I, Moreno-Muñoz J, Nuñez-Marquez E, et al. Importancia de la rugosidad y las tensiones residuales de los implantes dentales en el comportamiento de fatiga y osteointegración. Estudio en vivo con conejos. J Oral Implantol [Internet]. 2016.
58. Claudino M, Carvalho VF. Influencia de las superficies de los implantes en la osteointegración: un estudio histomorfométrico y de estabilidad de los implantes en conejos. Braz Dent J [Internet]. 2015.
59. Máximo FS, Cavalcanti J. Análise da superfície e osseointegração de implantes dentários com superfícies biomiméticas contendo Ca, Mg e F. Matéria (Rio Janeiro) [Internet]. 2016.
60. Marcantonio C, Marcantonio E. Supervivencia / éxito de los implantes dentales con superficies grabadas con ácido: una evaluación retrospectiva después de 8 a 10 años. Braz Dent J [Internet]. 2017.

Apéndices

Ensayo científico

Relevancia de la superficie del implante dental en la osteointegración

De manera simple, la osteointegración es el proceso definido como el íntimo contacto entre el hueso y el implante dental que requiere de una serie de factores claves para determinar su éxito, siendo la superficie del implante dental un elemento de gran importancia debido a que la osteointegración está relacionada de manera directa con las propiedades que brinda la superficie del implante. Albrektsson et al ¹ y otros autores destacan seis factores que son importantes para lograr una osteointegración sólida en la que se encuentra el material y el diseño del implante, la superficie, el estado del tejido óseo, la técnica quirúrgica y las condiciones de la carga del implante.

Dentro de los tipos de superficies de implantes se pueden encontrar los de superficie rugosa, mecanizada y lisa. Este último hoy en día ya no se utiliza producto de que al ser una superficie sin tratamiento la osteointegración es limitada, por lo que Silva et al ² y otros autores describieron en un artículo de investigación que la desventaja de este tipo de superficie se debe a que los osteoblastos tienden a buscar conexión con las rugosidades y tienen inclinación a desarrollarse hacia los surcos o ranuras que se encuentren en la superficie; debido a esta propiedad los implantes requieren un tiempo de espera mayor para lograr la osteointegración y su posterior carga protésica. Por esto y para optimizar la respuesta celular y el nexo de los implantes con los tejidos biológicos, la adquisición de una superficie rugosa es el método clave a seguir. Por consiguiente, el objetivo fundamental de este ensayo es demostrar la importancia que tienen las distintas superficies de implantes dentales para lograr una osteointegración a largo plazo.

La superficie del implante es un determinante en la fase inicial de la respuesta biológica y por lo tanto tiene una gran influencia en su integración con los tejidos circundantes, por lo que la proliferación y la diferenciación de osteoblastos sobre la superficie puede ser influenciada por la microestructura de las superficies, logrando así una mejora en la osteointegración del implante a través de diferentes tratamientos de la superficie. Es por esto

que se han realizado diversos estudios e investigaciones a fin de comprobar que el tratamiento de superficie alcanza una óptima osteointegración en el tejido óseo.

Varias investigaciones nos indican que la osteointegración solo puede ocurrir si las células precursoras de los osteoblastos migran hacia la superficie del implante y se adhieren a esta, pero Venegas ³ junto con otros autores describieron en su investigación que la adhesión de los osteoblastos a las superficies de los implantes no es suficiente para asegurar la osteointegración, sino que es necesario que las células reciban señales que las induzcan a proliferar.

Sin embargo, un estudio in vitro realizado por Mamalis et al ⁴ y otros colaboradores difieren de esto, encontrando que el número de células mesenquimales y su proliferación se redujo en superficies tratadas con grabado ácido de manera estadísticamente significativas a comparación con las superficies lisas, por lo que parece ser que cuando las células osteoblásticas contactan con las superficies rugosas o modificadas de manera química, estas son incapaces de sobrevivir y acceder de manera voluntaria a la apoptosis o muerte celular. Aprovechando este estudio como contraargumento de la investigación, queda demostrado que representa una minoría en comparación con lo demostrado en otros estudios.

Con esta revisión de literatura asimismo con las diversas características mencionadas anteriormente se pudo comprobar a través de diferentes estudios in vivo e in vitro, mayormente realizados en animales como conejos, que la superficie del implante debe ser tratada ya sea con métodos químicos o mecánicos, modificando su textura ya sea por adición o sustracción para lograr el éxito de la osteointegración de la manera más rápida y eficaz posible.

A raíz de esta investigación y toda la información recopilada se concluyó cual es la relevancia que poseen las superficies de los implantes dentales ya que de esta depende en gran manera el éxito de la osteointegración. También se mostraron las células que intervienen y cómo estas se adaptan a las distintas superficies además de cuales logran una mayor tasa de éxito.

Referencias bibliográficas del ensayo científico

1. Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson HA, Lindström J. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand.* 1981;52(2):155–70.
2. Silva-Miranda VH, Astudillo-Campos PP, Vélez-Sánchez MV, Sánchez-Valdiviezo MN. Tipos de superficie en los implantes dentales. *P del C.* 2017;2(6):265.
3. Venegas J, Garzon D. Interacción entre osteoblastos y superficies de titanio: aplicación en implantes dentales. *Sld.cu.* 2010.
4. Mamalis A, Silvestros S. Analysis of osteoblastic gene expression in the early human mesenchymal cell response to a chemically modified implant surface: an in vitro study: Chemical modification and early osteogenesis gene response. *Clin Oral Implants Res.* 2011;22(5):530–7.