



TESIS DOCTORAL

Correlación de la densidad mineral ósea mandibular con lumbar y femoral y su aplicación para el diagnóstico de osteoporosis

María Vera Rodríguez

PROGRAMA DE DOCTORADO: INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA APLICADA (R009)

Conformidad del director y codirector:

Dr. D. Jesús M^a Lavado García (director)

Dr. D. Sergio Rico Martín (codirector)

Esta tesis cuenta con la autorización del director/a y codirector/a de la misma y de la Comisión Académica del programa. Dichas autorizaciones constan en el Servicio de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Extremadura.

2024



TESIS DOCTORAL

Correlación de la densidad mineral ósea mandibular con lumbar y femoral y su aplicación para el diagnóstico de osteoporosis

María Vera Rodríguez

PROGRAMA DE DOCTORADO:

INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA APLICADA (R009)

2024

Conformidad del director:

Conformidad del director

Dr. D. Jesús M^a Lavado García

Dr. D. Sergio Rico Martín



DEPARTAMENTO DE ENFERMERÍA

Facultad de Enfermería y Terapia Ocupacional
Avd. Universidad s/n
10003-CACERES
ESPAÑA-SPAIN

D. Jesús M^a Lavado García, Profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Enfermería de la Facultad de Enfermería y Terapia Ocupacional de la Universidad de Extremadura,

CERTIFICA:

Que la presente tesis doctoral, titulada “Correlación de la densidad mineral ósea mandibular con lumbar y femoral y su aplicación para el diagnóstico de osteoporosis” de la que es autora D^a María Vera Rodríguez, ha sido realizada bajo su dirección en el Programa de Doctorado en Investigación Biomédica Aplicada de la Universidad de Extremadura.

Que, revisada la memoria presentada, el Director del trabajo considera que posee las condiciones requeridas para ser defendida. Por todo ello,

AUTORIZA:

Su presentación y defensa pública al tribunal designado al efecto de acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 99/2011 de 28 de enero.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, expide el presente certificado en Cáceres a 29 de enero de 2024.

Dr. D. Jesús M^a Lavado García



DEPARTAMENTO DE ENFERMERÍA

Facultad de Enfermería y Terapia Ocupacional
Avd. Universidad s/n
10003-CACERES
ESPAÑA-SPAIN

D. Sergio Rico Martín, Profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Enfermería de la Facultad de Enfermería y Terapia Ocupacional de la Universidad de Extremadura,

CERTIFICA:

Que la presente tesis doctoral, titulada “Correlación de la densidad mineral ósea mandibular con lumbar y femoral y su aplicación para el diagnóstico de osteoporosis” de la que es autora D^a María Vera Rodríguez, ha sido realizada bajo su dirección en el Programa de Doctorado en Investigación Biomédica Aplicada de la Universidad de Extremadura.

Que, revisada la memoria presentada, el Director del trabajo considera que posee las condiciones requeridas para ser defendida. Por todo ello,

AUTORIZA:

Su presentación y defensa pública al tribunal designado al efecto de acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 99/2011 de 28 de enero.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, expide el presente certificado en Cáceres a 29 de enero de 2024.

Dr. D. Sergio Rico Martín

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todos los que habéis creído en mí, en especial a mis directores de tesis Dr. D. Jesús M^a Lavado García y Dr. D. Sergio Rico Martín, por el interés mostrado para el desarrollo de este trabajo y su apoyo incondicional.

A los Doctores. D. Juan Diego Pedrera Zamorano y D. José M^a Morán García, sin ellos no habría sido posible llevar a cabo esta tesis doctoral. No tengo palabras para expresar mi gratitud por su inmenso apoyo, ánimo y fé a la Dra. M^a Luz Canal Macías.

Gracias al Dr. Virgilio García Martínez, él fue quien puso el grano para poder estar en USA y hacer de engranaje con mi mentor Dr. Alberto Monje.

Agradecer a la Universidad de Extremadura por darme la oportunidad de completar este ciclo de mi vida profesional en esta maravillosa institución. En especial, al Departamento de Enfermería de la Universidad de Extremadura, al grupo de investigación en Enfermedades Metabólicas Oseas (GIEMO) y a la Facultad de Enfermería y Terapia Ocupacional donde hemos realizado mi Tesis Doctoral.

Gracias infinitas a mis padres y hermano, por siempre apoyar mis sueños y decisiones incondicionalmente, incluso en los momentos más difíciles. Gracias a ellos presentar este proyecto es una realidad. Gracias a todos mis amigos que, a pesar de estar lejos, los de verdad siempre saben encontrar la forma de hacerme sentir que están cerca.

A todas las personas que han intervenido en el desarrollo de este trabajo, que son verdaderos protagonistas del mismo. Gracias por abrirme las puertas a su gran hogar, donde no sólo he crecido profesionalmente sino también como mujer y persona.

ABREVIATURAS

- aBMD.** Densidad mineral ósea areal.
- AIC.** Índice de Información de Akaike.
- AUC.** Área Bajo la Curva.
- BD.** Brazo derecho.
- BI.** Brazo izquierdo.
- BIC.** Criterio de Información Bayesiano.
- BMC.** Contenido mineral óseo.
- BMD.** Bone mineral density.
- BMU.** Unidades Multicelulares Óseas.
- BRON.** osteonecrosis de los maxilares relacionada con con bisfosfonatos
- BTT.** Tiempo de Transmisión Ósea.
- BUA.** Atenuación de Ultrasonido de Banda Ancha.
- CBFA1.** Core binding factor alpha 1
- DMO.** Densidad mineral ósea
- DXA.** Densitometría por absorciometría de rayos X.
- FN.** Cuello femoral.
- Fx.** Fractura.
- IM.** Índice Mental.
- IMC.** Índice de Masa Corporal
- IOF.** Fundación Internacional de la Osteoporosis.
- ISCD.** Sociedad Internacional de Densitometría Clínica.
- KI.** Índice de Klemetti.
- LS.** Columna lumbar.
- MCI.** Índice Cortical Mandibular.
- MCW.** Ancho cortical mandibular.

- NPV.** Valor predictivo negativo.
- OMS.** Organización Mundial de la Salud
- OR.** Odds ratios.
- PD.** Pierna derecha.
- PI.** Pierna izquierda.
- PMI.** Índice Mandibular Panorámico
- PPV.** Valor predictivo positivo
- pQCT.** Tomografía computarizada periférica de radio.
- QUS.** Ultrasonido cuantitativo del talón.
- RIQ.** Rango intercuartílico.
- ROC.** Características Operativas del Receptor
- SSI.** índice de tensión-deformación.
- UBPI.** Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido.
- UBV.** Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica
- VEFG.** Factor de Crecimiento Endotelial Vascular.
- VIF.** Factor de Inflación de la Varianza (VIF).
- VOS.** Velocidad del Sonido.
- X².** Chi-cuadrado.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros antropométricos en la totalidad de la muestra	88
Tabla 2. Indicadores reproductivos y gonadales femeninos	88
Tabla 3. Historial de fracturas en el total de la muestra por sexo.....	89
Tabla 4. Clasificación de los/las participantes conforme al IMC.....	94
Tabla 5. Clasificación de los/las participantes conforme al IMC y el sexo	95
Tabla 6. Composición corporal en la muestra de estudio (por sexos)	96
Tabla 7. Composición corporal por segmentos corporales y sexo de los/las participantes.....	98
Tabla 8. Características densitométricas de los/las participantes en el estudio (por sexos)	99
Tabla 9. Diagnóstico de osteoporosis a nivel de columna, cadera y diagnóstico global por DXA en el total de la muestra (por sexos).....	102
Tabla 10. T-scores y Z-scores en la muestra de estudio (mujeres).....	105
Tabla 11. T-scores y Z-scores en la muestra de estudio (hombres)	105
Tabla 12. Parámetros antropométricos en función del diagnóstico de osteoporosis (mujeres).....	106
Tabla 13. Parámetros antropométricos en función del diagnóstico de osteoporosis (hombres)	107
Tabla 14. DMO en la mandíbula en función del género	108
Tabla 15. DMO en la mandíbula en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis.....	109
Tabla 16. DMO en la mandíbula en el grupo de mujeres según el diagnóstico de osteopenia/osteoporosis.....	109

Tabla 17. DMO en la mandíbula en el grupo de hombres según el diagnóstico de osteopenia/osteoporosis	110
Tabla 18. Parámetros morfométricos mandibulares en el total de la muestra: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y ausencias dentales.....	111
Tabla 19. Parámetros morfométricos mandibulares en el grupo de mujeres: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y ausencias dentales.....	112
Tabla 20. Parámetros morfométricos mandibulares en el grupo de hombres: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y ausencias dentales.....	113
Tabla 21. Parámetros morfológicos mandibulares en la totalidad de la muestra en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis conforme al criterio del T-score de la OMS.....	117
Tabla 22. Parámetros morfológicos mandibulares en el grupo de mujeres en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis conforme al criterio del T-score de la OMS.....	119
Tabla 23. Clasificación de Klemetti (hemimandíbula derecha) en función del diagnóstico de osteoporosis/osteopenia/normalidad de la OMS.....	121
Tabla 24. Clasificación de Klemetti (lado izquierdo) en función del diagnóstico de osteoporosis/osteopenia/normalidad de la OMS.....	122
Tabla 25. Clasificación de Klemetti (derecha) en el grupo de mujeres, en función de parámetros antropométricos, biológicos y ausencias dentales.....	123
Tabla 26. Clasificación de Klemetti (izquierda) en el grupo de mujeres, en función de parámetros antropométricos, biológicos y ausencias dentales.....	125
Tabla 27. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (MCW), parámetros biológicos y ausencias dentales.....	127

Tabla 28. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (PMI), parámetros biológicos y ausencias dentales.	128
Tabla 29. Correlaciones de Spearman entre la DMO de la mandíbula y parámetros derivados del QUS de calcáneo.....	132
Tabla 30. Correlaciones de Spearman entre la DMO de la mandíbula y parámetros derivados de pQCT	133
Tabla 31. Regresión lineal múltiple. DMO en la cadera. Predictores: edad, años desde la menopausia, MCW y PMI. Clasificación de Klemetti C2 Derecha.....	136
Tabla 32. Regresión lineal múltiple. DMO en la cadera. Predictores: edad, años desde la menopausia, MCW y PMI. Clasificación de Klemetti C2 Izquierda.....	137
Tabla 33. Regresión lineal múltiple. DMO en la cadera. Predictores: edad, años desde la menopausia, MCW, PMI y ausencias dentales. Clasificación de Klemetti C3 derecha.....	140
Tabla 34. Coeficientes y estudio de colinealidad en modelo regresión lineal múltiple para la DMO en la mandíbula.....	141
Tabla 35. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula.....	143
Tabla 36. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula.....	144
Tabla 37. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula (grupo de mujeres).....	145
Tabla 38. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme	

a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula (grupo de mujeres)	147
Tabla 39. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula (grupo de hombres).....	149
Tabla 40. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula (grupo de hombres)	150
Tabla 41. Influencia de la Densidad Mineral Ósea Mandibular en la Baja Masa Ósea: Modelo de Regresión Logística.....	152
Tabla 42. Influencia de la clasificación de Klemetti (I) en la Baja Masa Ósea: Modelo de Regresión Logística.....	155
Tabla 43. Influencia de la clasificación de Klemetti (D) en la Baja Masa Ósea: Modelo de Regresión Logística.....	157
Tabla 44. Influencia de la clasificación de Klemetti (I) en la Baja Masa Ósea en la columna lumbar: Modelo de Regresión Logística.....	163
Tabla 45. Influencia de la DMO en la mandíbula en la baja masa ósea en la cadera: Modelo de Regresión Logística.....	166
Tabla 46. Influencia de la clasificación de Klemetti (I) en la baja masa ósea en la cadera: Modelo de Regresión Logística.....	170
Tabla 47. Odds Ratio y Significancia Estadística de la Clasificación de Klemetti D en la Probabilidad de Baja Masa Ósea en la Cadera.....	172
Tabla 48. Comparación de Características Clínicas entre Pacientes con y sin Baja Masa Ósea Total.....	175

Tabla 49. Odds ratio (Baja masa ósea global). Modelo de regresión logística múltiple.....	177
Tabla 50. Odds ratio (Baja masa ósea en la columna). Modelo de regresión logística múltiple.	180
Tabla 51. Odds ratio (Baja masa ósea en la cadera). Modelo de regresión logística múltiple.....	182
Tabla 52. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en columna o cadera: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos.....	185
Tabla 53. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en columna o cadera en mujeres: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos.....	187
Tabla 54. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en columna: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos.....	189
Tabla 55. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en cadera: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos.....	191

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vista del Densitómetro Norland XR-800@.....	68
Ilustración 2. Equipo Stratec XCT 2000 de Stratec Medizintechnik GMBH.....	72
Ilustración 3. Imagen panorámica original con un área de interés (ROI) definida para el cálculo de índices.....	73
Ilustración 4. Imagen panorámica original con un área de interés (ROI) e identificación de segmentos, puntos y regiones de interés.	74
Ilustración 5. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés.....	76
Ilustración 6. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Trazado de una recta tangente sobre la parte inferior de la mandíbula, recta (a) de la Ilustración 4.....	77
Ilustración 7. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento punto “D” de la Ilustración 4.....	77
Ilustración 8. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento de la línea “f”	78
Ilustración 9. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento de la línea (a) y puntos A y F.....	79
Ilustración 10. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento de los puntos B, C y E.....	79
Ilustración 11. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Ejemplo de salida de resultados mostrando el cálculo de los diferentes índices MCW y PMI.....	80
Ilustración 12. Prevalencia de hipertensión en la muestra de estudio.....	90
Ilustración 13. Prevalencia de hipotiroidismo en la muestra de estudio.....	91

Ilustración 14. Prevalencia de hipercolesterolemia en la muestra de estudio...	92
Ilustración 15. Prevalencia de diabetes en la muestra de estudio.....	92
Ilustración 16. Curva de ajuste entre la probabilidad de tener baja DMO global y la DMO en la mandíbula en la totalidad de la muestra.....	153
Ilustración 17. Clasificación de Klemetti (I) y probabilidad de baja masa ósea (osteopenia/osteoporosis).	156
Ilustración 18. Clasificación de Klemetti (D) y probabilidad de baja masa ósea (osteopenia/osteoporosis)	159
Ilustración 19. Clasificación de Klemetti (D) y probabilidad de baja masa ósea (osteopenia/osteoporosis)	164
Ilustración 20. Relación entre la densidad mineral ósea de la mandíbula y la probabilidad de baja densidad mineral ósea en la cadera.....	167
Ilustración 21. Distribución de la probabilidad de baja DMO en la cadera según la clasificación de Klemetti (I).....	170
Ilustración 22. Probabilidad estimada de baja DMO en la cadera en función de la clasificación de Klemetti (D).....	173
Ilustración 23. Curva ROC del Modelo de Regresión Logística para la Predicción de Masa Ósea Baja en la Cadera.....	183
Ilustración 24. Gráfico de la Curva Característica Operativa del Receptor (ROC) para la DMO en la mandíbula.....	186

INDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	29
I. 1. Introducción general.....	31
I. 2. El tejido óseo.....	38
I. 2. 1. Clasificación Morfológica de los Elementos Óseos.....	40
I. 2. 2. Remodelamiento óseo: Dinamismo del esqueleto humano.....	40
I. 2. 3. El tejido óseo mandibular y osteoporosis.....	51
CAPÍTULO II. OBJETIVOS.....	57
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
III. 1. La población de estudio.....	63
III. 1. 1. Análisis de subgrupos.....	64
III. 2. Diseño del estudio.....	65
III. 3. Procedimientos de medida.....	65
III. 3. 1. Índice de masa corporal.....	65
III. 3. 2. Determinación de la DMO mediante DXA.....	66
III. 3. 3. Determinación de la DMO en la mandíbula.....	69
III. 3. 4. Determinación de ultrasonido óseo cuantitativo.....	70
III. 3. 5. Evaluación de la DMO Cortical y Trabecular usando pQCT.....	72
III. 4. Índices odontológicos relevantes.....	73
III. 4. 1. Automatización del cálculo de índices mediante software.....	75
III. 5. Análisis estadístico.....	80

III. 6. Consideraciones éticas.....	82
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	85
IV. 1. Parámetros antropométricos, biológicos y hábitos de vida de la muestra de estudio.....	87
IV. 2. Historial de fracturas.....	89
IV. 3. Comorbilidades.....	90
IV. 4. Actividad física.....	93
IV. 5. Estado nutricional y composición corporal.....	94
IV. 5. 1. Composición corporal.....	96
IV. 6. Determinaciones densitométricas.....	99
IV. 6. 1. Determinaciones densitométricas mandibulares y sexo y diagnóstico de osteopenia/osteoporosis.....	108
IV. 7. Parámetros morfométricos mandibulares: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y la Clasificación de Klemetti. Estudio de su relación con parámetros densitométricos determinados mediante DXA, QUS y pQCT.....	111
IV. 7. 1. Clasificación de Klemetti.....	114
IV. 7. 2. Parámetros morfológicos mandibulares en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis.....	116
IV. 7. 3. Clasificación de Klemetti en función del diagnóstico de osteoporosis/osteopenia/normalidad de la OMS.....	121
IV. 7. 4. Clasificación de Klemetti en función de parámetros biológicos y ausencias dentales.....	123
IV. 7. 5. Clasificación de Klemetti y pQCT de radio.....	26
IV. 7. 6. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (MCW y PMI), parámetros biológicos y ausencias dentales.....	126
IV. 7. 7. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (MCW y PMI) y ultrasonido óseo cuantitativo del calcáneo.....	130

IV. 7. 8. Estudio de la correlación para la DMO de mandíbula y el ultrasonido óseo cuantitativo del calcáneo.....	131
IV. 7. 9. Estudio de la correlación para la DMO de mandíbula, y parámetros derivados del pQCT.....	132
IV. 7. 10. Estudio de la correlación para la presencia de ausencias dentales y parámetros derivados del ultrasonido óseo cuantitativo del calcáneo.....	134
IV. 7. 11. Regresión lineal múltiple: DMO en la cadera, MCW, PMI, clasificación de Klemetti y ajuste por edad y años de menopausia.....	134
IV. 7. 12. Regresión lineal múltiple: DMO en la columna, MCW, PMI, clasificación de Klemetti y ajuste por edad y años de menopausia.....	138
IV. 7. 13. Regresión lineal múltiple: DMO en la mandíbula. Determinación de factores predictores de la misma.....	141
IV. 7. 14. Relación entre la densidad ósea del hueso calcáneo determinada mediante ultrasonido óseo cuantitativo y la morfometría de la mandíbula (clasificación de Klemetti).....	142
IV. 8. Modelos de regresión logística para predicción del riesgo de baja masa ósea en base a diferentes parámetros morfométricos y densitométricos mandibulares.....	151
IV. 8. 1. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base a la densidad mineral ósea de la mandíbula.....	151
IV. 8. 2. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base al MCW D y el MCW I.....	153
IV. 8. 3. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base al PMI I y el PMID.....	154
IV. 8. 4. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base a la clasificación de Klemetti.....	154
IV. 8. 5. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna, en base a la DMO en la mandíbula.....	159
IV. 8. 6. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna, en base al MCW (I) y MCW (D).....	160
IV. 8. 7. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna, en base al PMI (I) y PMI (D).....	161

IV. 8. 8. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna en base a la clasificación de Klemetti.....	161
IV. 8. 9. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base a la DMO en la mandíbula.....	165
IV. 8. 10. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base al MCW (D)/(I).....	167
IV. 8. 11. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base al PCI (D)/(I).....	168
IV. 8. 12. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base a la clasificación de Klemetti (D)/(I).....	168
IV. 9. Estudio bivalente para baja masa ósea identificación de variables predictoras y aplicación del modelo de regresión logística múltiple.....	173
IV. 9. 1. Estudio bivalente para baja masa ósea en la columna e identificación de variables predictoras y aplicación del modelo de regresión logística múltiple.....	178
IV. 9. 2. Estudio bivalente para baja masa ósea en la cadera e identificación de variables predictoras y aplicación del modelo de regresión logística múltiple.....	180
IV. 10. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.....	183
IV. 10. 1. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.....	184
IV. 10. 2. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea en la columna: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento Punto de Corte Óptimo.....	188
IV. 10. 3. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea en la cadera: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.....	190
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	193

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....227

CAPÍTULO VII. ANEXOS.....231

CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA.....242

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I. 1. Introducción general

La patología del sistema esquelético conocida como osteoporosis genera un debilitamiento progresivo de los huesos, tanto debido a una disminución en su densidad mineral como a un empeoramiento del estado general del tejido (afectación de propiedades elásticas del hueso) (1). La posibilidad de sufrir fracturas aumenta como resultado de los cambios en la estructura y composición ósea. En las primeras etapas, resulta difícil detectar precozmente este proceso patológico ya que no presenta señales visibles hacia el exterior. Ante traumas leves que generalmente no producirían daños, la fragilidad ósea en estos pacientes se vuelve un motivo de preocupación. Es crucial reconocer la magnitud que representan socialmente, tanto desde el punto emocional como económico, y no solo las lesiones más llamativas provocadas por una caída y la consecuente fractura de cadera, sino la existencia de otras lesiones osteoporóticas que pueden impactar en cualquier hueso del esqueleto y que representan un gran desafío tanto para la salud individual como para el sistema sanitario. Centrarse exclusivamente en los costes económicos y sociales asociados a esta patología en las fracturas de cadera puede eclipsar la importancia crucial que tiene prevenir y tratar adecuadamente las lesiones óseas ocurridas fuera de esa región específica. Estas afectan profundamente a los pacientes tanto física como económicamente y sin duda nos encontramos ante un problema de salud global (2)

Al llegar al año dos mil se contabilizaron en torno a 9 millones de fracturas atribuidas a la osteoporosis (1.6 millones a fracturas de cadera, 1.7 a fracturas de antebrazo y 1.4 a fracturas vertebrales clínicamente diagnosticadas). Con una concentración superior al 33% del total, Europa

resultó ser la región con mayor impacto por estas lesiones. Si se analiza la carga total del panorama internacional de las enfermedades no transmisibles incluyó cerca del 1% (debidas a fracturas por osteoporosis), con una proporción mucho más alta observada específicamente en Europa (entorno al 1.75%). En término de años de vida ajustados por discapacidad, la osteoporosis se encontró en posición inferior por debajo de otros trastornos musculo esqueléticos como la osteoartritis, pero superior a los años perdidos a causa de la artritis reumatoide (3). La Fundación Internacional de la Osteoporosis (IOF) informa que hasta el 50% de las mujeres y un porcentaje inferior pero significativo (30%) de los pueden padecer osteoporosis, agravándose esta situación después de la menopausia. (4).

Para prevenir las fracturas en pacientes con osteoporosis, es crucial realizar un diagnóstico temprano y brindar el tratamiento apropiado. La densidad mineral ósea (DMO) es el parámetro clave utilizado para determinar la calidad de los huesos y evaluar su salud. A pesar de ello, resulta imprescindible tener presente que los individuos con osteoporosis no experimentan síntomas notorios mientras progresa la condición; así pues, es común que sea a través de una fractura ósea cómo se diagnostique inicialmente dicha patología (5,6).

Examinar el grosor y la forma de los huesos mandibulares en imágenes de rayos X panorámicas puede resultar beneficioso al momento de identificar a pacientes que podrían padecer osteoporosis. Numerosos estudios han evaluado y validado el uso efectivo y confiable tanto del ancho (MCW) como de las características morfológicas (MCI) de la mandíbula (7). En la práctica clínica habitual, esta modalidad de análisis radiográfico ofrece la posibilidad de observar detalladamente las características estructurales del hueso mandibular sin necesidad de intervenciones invasivas (8-12). Además, resulta ser un método económico y accesible.

Tener la habilidad de discernir alteraciones leves en el sistema óseo utilizando estas técnicas radiográficas avanzadas es sumamente significativo, considerando que usualmente los síntomas claros de osteoporosis solo se manifiestan después de sufrir alguna lesión grave como una fractura. Mejorar sustancialmente la detección precoz de la osteoporosis sería posible al integrar estos métodos. Asimismo, tomar en consideración estos acercamientos radiográficos al examinar tanto la calidad ósea como estructura mandibular puede ser fundamental para proporcionarnos evidencia clínica ayudando a constituir entendimiento sólido que ayude a poder realizar una correcta interpretación sobre dichas señales radiológicas y su interpretación como señales tempranas del desarrollo de osteoporosis.

En la literatura se ha indagado en profundidad acerca del supuesto vínculo existente entre las patologías periodontales y las relacionadas con debilidad ósea como es el caso de la osteoporosis. Varios estudios enfatizan esta interrelación (13-19,19,20). Son principalmente las mujeres quienes han sido objeto de investigación con mayor frecuencia. Específicamente se ha estudiado el grupo de aquellas en etapa posmenopáusica debido al aumento del riesgo de desarrollar osteoporosis causada por los cambios hormonales. Los parámetros considerados en estas evaluaciones incluyen la densidad mineral ósea esquelética y diversos indicadores de salud periodontal: tumefacción y sangrado gingival, presencia de bolsa periodontal, pérdida ósea alveolar, así como las pérdidas en términos de inserción e incluso dentarias. Por otro lado, existe una falta considerable de investigaciones centradas específicamente en analizar cómo se relaciona osteoporosis con enfermedades periodontales dentro del grupo demográfico conformado por hombres, mujeres durante su perimenopausia o en jóvenes. Este vacío proporciona áreas susceptibles de abordaje para futuras investigaciones. El análisis de un total de 17 estudios focalizado en la relación entre osteoporosis y enfermedad periodontal reportó un vínculo favorable

existente (en once estudios de los diecisiete) en pacientes con osteoporosis afectados con enfermedad periodontal. Se observó un aumento significativo en la probabilidad de sufrir pérdida de hueso alveolar en personas con osteoporosis, especialmente si también estaban afectados por periodontitis preexistente indicando por tanto que, además, el tener osteoporosis o una DMO sistémica baja, podría aumentar la probabilidad de sufrir progresión en la enfermedad periodontal (21). Mas recientemente, resultados obtenidos tras analizar 28 estudios observacionales que involucraron a 19.611 pacientes divididos entre aquellos diagnosticados con osteoporosis posmenopáusica (5.813 casos) y aquellos sin esta enfermedad (13.798 casos), por una parte confirmaron la tendencia de que los grados de pérdida de inserción clínica, profundidad de sondaje, recesión gingival, índice de higiene oral simplificado y porcentaje de sitios con sangrado al sondaje serían mucho mayores para quienes padecen osteoporosis. El análisis conjunto de los estudios realizados en ambos grupos reveló que no existían diferencias significativas en la pérdida de altura del reborde alveolar (20).

Se han llevado a cabo estudios para determinar si existe una reducción similar tanto en los niveles de DMO de la mandíbula como en las vértebras lumbares y el cuello del fémur. Estos análisis han sido realizados específicamente con mujeres que ya han pasado por menopausia dentro del ámbito poblacional español. A partir del análisis realizado con una muestra de 137 mujeres sometidas a densitometrías óseas, fue posible establecer que existe un vínculo estadísticamente significativo entre los valores de bone mineral density (BMD) registrados tanto para el área lumbar como para el hueso mandibular. De esta forma los autores concluyeron la mandíbula, al igual que la columna lumbar, es susceptible a la pérdida de BMD debido a la osteoporosis en la población de mujeres estudiada (22). Además, en España también se han evaluado índices radiomorfométricos para determinar su utilidad; entre ellos destaca el Índice Mandibular Panorámico (PMI) o el Índice Cortical

Mandibular (MCI), en mujeres postmenopáusicas para determinar la probabilidad de sufrir una fractura. Luego el estudio realizado con una muestra total compuesta por 120 mujeres, afectadas y no afectadas por fracturas vertebrales causadas por debilitamiento óseo, se logró demostrar que existen indicios claros para predecir el riesgo incrementado gracias a los índices radiológicos obtenidos. Sin embargo, aún no se ha podido determinar con claridad si existe una conexión directa entre estos índices y la osteoporosis. Es necesario contar con más estudios científicos que permitan evaluar su validez como indicadores de esta enfermedad (23).

La utilización conjunta de evaluaciones de los índices mandibulares y cuestionarios exhaustivos sobre factores relacionadas con las fracturas, podría ser una estrategia importante en la identificación precoz del avance hacia la osteoporosis. La evaluación de ortopantomografías proporciona información valiosa sobre el estado global del esqueleto humano al analizar variables como los índices visuales y morfométricos relacionados con la densidad ósea mandibular. (24–27), además, es relevante mencionar que se ha demostrado la importancia de utilizar técnicas fotodensitométricas en radiografías periapicales. La realización de estas pruebas podría ayudar a detectar deficiencias potenciales en la DMO, al mismo tiempo que ofrece una evaluación detallada de la estructura trabecular del hueso (28). La osteoporosis conduce desde el punto de vista de la estructura ósea a una disminución en la densidad del hueso cortical, así como a alteraciones en la configuración del tejido óseo trabecular (29) y por el análisis textural de las imágenes radiográficas del tejido óseo trabecular ha sido propuesto por diferentes investigadores como una posible manera de obtener información suplementaria en la evaluación del riesgo de fracturas (30,31). Además, en las radiografías mandibulares (32–34) se han empleado estas técnicas.

En la detección precoz de casos de osteoporosis (a menudo mediante el hallazgo de una densidad ósea reducida), resulta crucial contar con un abordaje multidisciplinar. Para mejorar los tratamientos tanto preventivos como terapéuticos de esta enfermedad sistémica, es fundamental promover la colaboración eficiente multidisciplinar, entre profesionales dentales y sanitarios con formaciones específicas. Recordemos que esta patología afecta a un gran número de personas en diferentes partes del mundo, principalmente mujeres después de sufrir la menopausia. Las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) deben ser seguidas para mejorar la atención de enfermedades crónicas, se debe prestar un servicio integral a tiempo que se pone énfasis en el refuerzo y enfoque hacia actividades relacionadas con la asistencia sanitaria a nivel primario. Es imperativo que el objetivo sea la mejora del sistema de salud a través de un enfoque centrado en las personas, el cual incluye tanto servicios especializados como cuidado multidisciplinario. (35)

Para establecer si los exámenes radiográficos dentales, las pruebas óseas en la mandíbula y la determinación de parámetros morfológicos de la misma actúan como marcadores útiles para diagnosticar osteoporosis se requiere realizar más investigaciones. Se ha comprobado anteriormente que existe una correspondencia significativa entre el grosor del hueso mandibular evaluado mediante imágenes panorámicas e índices de DMO medidos a nivel de cadera, columna vertebral lumbar y antebrazo; estas áreas son las más vulnerables a fracturas relacionadas con osteoporosis al entrar en el periodo posmenopáusico (36). Los resultados indican que la práctica odontológica regular puede ofrecer una valiosa oportunidad de detectar esta afección sistémica en sus primeros estadios, evitando así el empleo de técnicas más costosas e invasivas como los escaneos densitométricos óseos.

A lo largo de las últimas cuatro décadas, se ha documentado evidencia radiográfica oral vinculada a la osteoporosis. Esta evidencia señala que aquellos pacientes con esta enfermedad presentan menor cantidad de tejido óseo en sus mandíbulas y una estructura modificada (37). Considerando las características dentales, se ha establecido una base sólida en el diagnóstico de la osteoporosis. Sin embargo, las indagaciones realizadas hasta ahora en este campo han obtenido resultados inconsistentes. Esto justifica la necesidad imperante de llevar adelante nuevas investigaciones con el fin de clarificar y consolidar los conocimientos actuales.

Evaluar el riesgo de osteoporosis sistémica mediante radiografías panorámicas dentales es una destacada característica que presenta la iniciativa OSTEODENT (38). Al ser tomadas con fines diagnósticos en casos de problemas bucodentales, estas radiografías pueden ofrecer datos adicionales acerca de la osteoporosis en el individuo. No podemos dejar de lado la importancia de seguir indagando acerca de este tema y además analizar cómo se pueden utilizar los índices morfométricos mandibulares junto a parámetros clínicos para avanzar en el diagnóstico temprano de osteoporosis.

Dentro del ámbito poblacional extremeño se carece de investigaciones similares; por ello, los resultados podrían resultar relevantes tanto para cuestiones locales como globales. La posibilidad de detectar precozmente la osteoporosis en la consulta odontológica puede cambiar radicalmente cómo se aborda su prevención, brindando a las personas afectadas una mejora notable en su bienestar y aliviaría significativamente el gasto que implica esta enfermedad para el sistema sanitario. Es fundamental movilizarnos con el objetivo de llenar este hueco en la investigación, presentado datos convincentes y utilizables como evidencia sólida ya sea para la práctica clínica como para el establecimiento de políticas públicas sanitarias.

I. 2. El tejido óseo

El tejido óseo forma parte del sistema esquelético humano. Se caracteriza a este tejido por su intrincada estructura en donde se encuentra una cantidad significativa de proteínas que llega hasta el 30%, destacando especialmente la presencia del colágeno tipo I como la principal (39,40). La presencia predominante en su composición son los compuestos inorgánicos. Entre ellos destaca la hidroxiapatita, que representa alrededor del 60%. Un papel importante en la dinámica y estructura del tejido lo juega el agua, que representa aproximadamente un 10% (41,42). Para un desempeño adecuado del organismo, el tejido óseo cumple múltiples roles importantes. Su función es brindar soporte estructural como un marco donde se pueden insertar músculos, tendones y ligamentos sin comprometer la integridad física de los vertebrados (43). Igualmente, salvaguarda órganos esenciales y aloja células hematopoyéticas en su médula. Igualmente, este tejido juega un rol esencial en la regularización homeostática de los niveles iónicos al actuar como reserva para el calcio y fósforo. Mientras que el tejido cartilaginoso tiene un crecimiento expansivo, el desarrollo del hueso ocurre a través de la acumulación de nueva matriz en sus superficies. (44).

En un ciclo continuo de regeneración (turnover óseo), el tejido óseo experimenta un recambio a través de una secuencia de eventos altamente regulados: Los osteoclastos son las células encargadas de llevar a cabo la reabsorción ósea al descomponer y eliminar la vieja matriz ósea. En contraste, los osteoblastos se ocupan de crear una nueva estructura mediante el depósito de materiales en lugar del tejido previamente eliminado con el objetivo principal mantener tanto integridad como funcionalidad en el hueso (45). La actividad de estas células, y particularmente la de los osteoclastos, se ve influenciada directa o indirectamente por señales hormonales (46). El esqueleto adulto experimenta este proceso de *turnover* óseo constante a lo largo de toda la

vida. Los osteoclastos y osteoblastos se encargan de trabajar en conjunto dentro de una unidad durante el proceso de remodelación ósea. Luego de llegar al momento culminante de obtención del pico de masa ósea (máxima DMO), sucede una estabilidad dentro del proceso renovador para mantener inalterable dicha estructura durante algún período comprendido entre diez años hasta veinte años; después aparece progresivamente debilitamiento debido exclusivamente al pasar de los años. Dicho fenómeno está motivado porque aumenta drásticamente las etapas donde surgen absorciones mientras decrece gradualmente la creación de tejido óseo *de novo*. El aumento en importancia relativa de los procesos de remodelación cortical está directamente relacionado con el deterioro progresivo del hueso esponjoso y un mayor nivel actividad remodeladora durante las distintas etapas del envejecimiento. La remodelación ósea juega un papel importante en el desarrollo y crecimiento del esqueleto, persistiendo a lo largo de toda la vida (44). La remodelación, así como también, el proceso de modelado se ven influenciados tanto por los tratamientos farmacológicos actuales (teriparatide, denosumab, odanacatib...) como por los que están por venir (47).

Para tener huesos sanos no es suficiente con consumir calcio u fósforo (ya que estos dos elementos son básicos para la formación de la hidroxiapatita), sino que existen otros nutrientes tanto *macro* como *micro* que también son necesarios. No solo participan activamente, sino que también interactúan con diversas enzimas implicadas tanto en los procesos de formación como la degradación del tejido óseo; por lo cual, estos nutrientes adicionales juegan roles vitales. El zinc se destaca como uno de los elementos más relevantes tanto en el metabolismo del tejido óseo como en la preservación de la funcionalidad del sistema esquelético dentro de este espectro nutricional (41).

I. 2. 1. Clasificación Morfológica de los Elementos Óseos

La estructura esquelética del ser humano se compone de huesos clasificados en dos categorías: aquellos que tienen un contorno aplanado (como la mandíbula) y otros que sobresalen por su longitud (como el fémur). La génesis de estos elementos esqueléticos procede de dos mecanismos diferenciados: Hay uno que se denomina intramembranoso y otro que sigue un modelo de formación endocondral, este último inicia su desarrollo a partir del cartílago. No obstante, la evolución de los huesos largos incorpora ambas dinámicas celulares. El factor más notable que define su origen es si tienen o no un origen cartilaginoso (44,48).

Los huesos largos se identifican por sus extremos dilatados, las epífisis, seguidos por una sección cilíndrica vacía, la diáfisis, y una zona intermedia que las conecta, conocida como metáfisis (49). Estas partes derivan de núcleos de osificación autónomos, y durante la fase de crecimiento, un tejido cartilaginoso los separa, cumpliendo una función crucial en el ensanchamiento longitudinal óseo. Dicho tejido sufre un proceso de mineralización y posterior transformación en tejido óseo al culminar la etapa de desarrollo (50). La superficie ósea exterior se compone de una capa robusta y calcificada, la corteza, que protege la cavidad interna destinada a la médula ósea encargada de la formación sanguínea. Cerca de la metáfisis y la epífisis, la corteza se hace más fina y el espacio adyacente se ve ocupado por una estructura de soportes calcificados delgados, configurando el hueso esponjoso que aloja médula ósea y se extiende hasta la cavidad diáfisis. El revestimiento del extremo de los huesos largos, las epífisis, se cubre con cartílago articular (44).

Las superficies óseas interactúan con el tejido blando a través de dos interfaces: una periférica y otra interna, protegidas por células con capacidad de generar nuevo tejido óseo. Aunque el hueso compacto y el esponjoso comparten componentes celulares y matriciales, se diferencian

en su conformación y su papel biológico. El contraste estructural primario se observa en el porcentaje de calcificación, más elevado en el hueso compacto, lo que conlleva a que la interacción más extensa con los tejidos blandos se produzca en la superficie interna, abarcando todas las áreas trabeculares (49). Desde la perspectiva funcional, el hueso compacto provee resistencia y defensa, en tanto que el esponjoso se asocia con procesos metabólicos, y ambos contribuyen al sostén biomecánico, siendo de particular importancia en las vértebras (44,49,51).

A partir de las propiedades tanto estructurales como funcionales del sistema óseo humano se pueden diferenciar dos tipos de tejido óseo notablemente diferentes: compacto y esponjoso. Cada uno de estos desempeña funciones particulares contribuyendo así a mantener un equilibrio interno adecuado, así como a influir directamente sobre aspectos biomecánicos generales al conjunto corpóreo. El aspecto más destacado del hueso compacto radica en su capacidad para soportar mejor las fuerzas mecánicas cuando se compara con el hueso esponjoso debido principalmente estructura densa, compuesta de osteonas o sistemas haversianos, que son láminas óseas dispuestas concéntricamente alrededor de canales vasculares (52-54). Debajo del periostio y a lo largo de las diáfisis óseas se ubica este tipo especializado de tejido óseo que es más duro y fuerte, necesario para proporcionar apoyo estructural a los huesos largos (55,56).

Otro aspecto a tener en cuenta es que el hueso esponjoso o trabecular presenta un patrón característico con forma de panal denominadas trabéculas. La habilidad del hueso esponjoso para remodelarse le permite sostener cambios en la distribución del peso y desempeñar un rol importantísimo en el metabolismo mineral (57). Esta función metabólicamente activa contrasta con la función principalmente relacionada con elementos estructurales observados dentro tipo óseo compacto. Este último comprende casi o superando cifras cercanas al 80%

respecto cantidad global de tejido óseo presente en el cuerpo siendo muy resistentes a la flexión, torsión y compresión (55).

Es, gracias a la interacción entre estas dos formas de tejido óseo, que se logra mantener la integridad y funcionalidad del esqueleto. Tanto uno como el otro tipo presentan características similares, entre ellas la existencia de células (osteocitos) incrustadas en una matriz mineralizada y conectados mediante pequeños canales (canaliculi) (58).

Análisis de la composición ósea

El entramado complejo y dinámico del tejido óseo asegura tanto la conservación de la homeostasis mineral como de una correcta estructura corporal. Por esta razón, su integridad resulta fundamental. La **sustancia osteoide o matriz orgánica** constituye aproximadamente el 35% del peso total y es un componente fundamental en el tejido óseo (59). En su mayoría, las proteínas constituyentes son fibras del tipo I del colágeno y representan el 90% del total en la matriz (60–62). En el tejido óseo, los **osteoblastos** juegan un papel fundamental al sintetizar y organizar correctamente las fibras proteicas del colágeno (40). Gracias a este proceso, se logra una mayor dureza y rigidez para soportar diferentes cargas mecánicas. Cabe destacar que esto es posible gracias a fenómenos bioquímicos donde participan sales minerales tales como calcio y fosfato presentes principalmente en un compuesto denominado hidroxapatita (63).

Tanto la abundancia como la capacidad del colágeno para resistir tensiones lo convierten en un elemento fundamental cuando se trata de soportar las cargas pesadas ejercidas sobre los huesos. Considerada como una parte integral de la resistencia ósea, la matriz del colágeno sin calcificar desempeña un papel vital como precursor del tejido óseo maduro y mineralizado (40).

Conocida como una de las proteínas más frecuentes en el hueso, la **osteocalcina** es secretada por los osteoblastos y desempeña un papel crucial dentro de la estructura matricial (64). En sus comienzos se asumía simplemente una acción inhibidora sobre el proceso de mineralización ósea. No obstante, investigaciones actuales nos permiten entender mejor cómo opera esta proteína. Ahora sabemos que hay evidencia sugiriendo un rol mucho más amplio para este péptido, estando aparentemente implicada también en procesos relacionados con el metabolismo general del cuerpo humano y tienen efectos incluso a nivel reproductivo y cognitivo (65). Al contar con residuos específicos del ácido γ -carboxiglutámico (66), esta proteína tiene capacidad para unirse al calcio. Gracias a esto puede interactuar con éxito con la hidroxiapatita desempeñando un papel relevante en el desarrollo y diferenciación de los osteoblastos (66,67).

Se describe en el tejido óseo la presencia de una estructura denominada **matriz extracelular**, que está formada tanto por elementos orgánicos como inorgánicos. La disposición formada por cristales de **hidroxiapatita** conformados con calcio, fosfato y carbonato juega un papel fundamental en la estructura. La fuerza estructural del hueso proviene de los cristales que interactúan con las fibras de colágeno en él; esto le permite ser tanto rígido como flexible (68-71). Además de su función en proveer resistencia mecánica, cabe destacar que la hidroxiapatita cumple un importante rol como depósito principal de los minerales clave para nuestro cuerpo: alrededor de un 99% del calcio presente en nuestro cuerpo está ubicado cerca, igual que aproximadamente un 85 % del fosfato (72,73). Tanto la integridad estructural del esqueleto como múltiples funciones metabólicas se ven afectadas por estos minerales; asimismo, proporciona la capacidad de ser almacenados y utilizados cuando sea necesario (74).

Para regular adecuadamente el proceso de diferenciación celular y mantener intacto el tejido óseo, es crucial la **matriz mineralizada extracelular** (75). Parte del control sobre los osteoblastos y osteoclastos, células encargadas respectivamente del crecimiento y resorción ósea, recae en la liberación de iones tanto calcio como fósforo desde esta matriz y de esta manera, la relevancia crucial que tienen los cristales de hidroxiapatita (68) para las funciones homeostáticas y regenerativas del hueso se enfatiza aún más.

La conexión entre el colágeno y la hidroxiapatita juega un papel fundamental en cómo funciona estructuralmente nuestro sistema óseo, ya que esto permite una mayor adaptabilidad a diversas situaciones de estrés o carga. Se investiga constantemente para entender cómo la disposición estructural de estos componentes afecta a la resistencia y función que tiene el hueso como un material compuesto biológico (69).

La regulación del desarrollo del tejido óseo en el cuerpo humano implica principalmente a las células osteogénicas. Jugando un papel clave en la reconstrucción e incremento del hueso se encuentran células progenitoras; a su vez ellas dan origen a diferentes tipos celulares más específicos dentro del mismo tejido: Los **osteocitos y los osteoblastos** son un ejemplo (76). De origen mesenquimal, los osteoblastos son células encargadas principalmente del proceso constructivo del hueso. Su diferenciación con respecto a los progenitores mesenquimatosos (77) depende tanto de rutas directas como indirectas; estas últimas resultando vitales para lograr procesar una correcta osificación intramembranosas, así como endocondral. El proceso de osificación intramembranosa es responsable de la osificación de huesos como el cráneo, la mandíbula o las clavículas, en cuanto a la osificación endocondral es característica del esqueleto axial y de las extremidades (78).

Las células madre mesenquimales presentes en la médula ósea son responsables de generar los **osteoblastos**. En el proceso de diferenciación

osteoblástica, genes específicos son activados mediante la regulación por parte de las rutas pro-osteogénicas. (79). Un conjunto complejo de factores de transcripción controla la diferenciación celular hacia los osteoblastos. Entre estos se encuentran el factor relacionado con runt 1/2, osterix y la proteína unión a secuencias ricas en AT entre otros (80). Durante la **osteogénesis**, los huesos se desarrollan bajo un estricto control mediante regulaciones externas. Estas regulaciones incluyen la participación activa tanto de hormonas como factores de crecimiento, así como señales transmitidas por proteínas y factores transcripcionales específicos para los osteoblastos (p.e. el factor Cbfa1 (core binding factor alpha 1 también conocido como Runx2)) (81,82). El Factor de Crecimiento Endotelial Vascular (VEGF) puede mediar un proceso diferencial realizado por células presentes en las paredes de los vasos sanguíneos que permite el desarrollo de osteoblastos. Tanto las migraciones celulares como la multiplicidad celular son impulsadas por este factor durante el proceso angiogénico, lo que lo convierte en un elemento fundamental, teniendo también efecto indirecto en la modulación de las vías relacionadas con procesos osteogénicos (83). Representando solamente entre un 4 a 6 por ciento del conjunto celular dentro del hueso, estas células cuboides (84) juegan un papel fundamental en la formación constante de tejido óseo. Su ubicación principal se encuentra en áreas con actividad continua donde ocurre crecimiento tales como periostio o endostio (85). La transformación del tejido óseo ocurre cuando las células precursoras se diferencian, promoviendo así una creciente expansión celular para dar paso al desarrollo tanto a osteoblastos maduros como a finalmente osteocitos metabólicamente activados (84). A pesar de todo, merece ser mencionado que un número significativo de osteoblastos acaban por someterse a apoptosis (86), un mecanismo controlado para su muerte celular. Con esto se subraya lo frágil que resulta mantener una adecuada regulación en relación con las funciones formativas y regenerativas del hueso (87).

Un proceso dinámico y crucial en el mantenimiento de la homeostasis del sistema esquelético es la remodelación ósea. El papel pasivo pero crucial en este proceso lo desempeñan los osteoblastos aplanados e inactivos, que son las **células de revestimiento** óseo con escasos orgánulos. Las células se organizan formando una única capa protectora sobre el hueso, indicando su relevante papel en el control del tejido óseo.(88).

En los adultos, se estima que las células de revestimiento abarcan alrededor del 80% de las superficies trabeculares y endocorticales, evidenciando así su amplia distribución a través del esqueleto maduro e indicando un posible papel significativo en la conservación ósea (85). Actuando como una barrera selectiva, estas células están separadas del hueso mineralizado por un fino tejido conectivo que regula el intercambio de minerales. (53).

Las células de revestimiento no solo facilitan el trabajo de los osteoclastos al preparar la superficie ósea para reabsorciones frente a distintas señales, sino que también pueden cambiar su estado inactivo y actuar como osteoblastos activos realizando formaciones internamente mediante procesos que no involucran el reclutamiento celular (88,89). La respuesta rápida y eficiente a las necesidades de remodelación ósea se logra gracias a la capacidad adaptativa del hueso, que proporciona este mecanismo (90,91).

Los osteocitos, una clase de células atrapadas en la matriz mineralizada, componen hasta un 90% (92) del tejido óseo, convirtiéndolos en las células más abundantes presentes. Los osteocitos aparecen cuando los osteoblastos experimentan modificaciones en su estructura celular, tomando una forma dendrítica y colocándose a lo largo del hueso vascularizado (93). La retención de los osteocitos en la matriz se lleva a cabo durante su proceso de diferenciación a partir de los osteoblastos (94), quienes son responsables de crear dicha matriz. Esta

transición no solo marca un cambio en su morfología sino también en su función: Las células que se encargan de construir huesos se convierten en células necesarias para controlar el metabolismo óseo y favorecer la comunicación con otras células (95).

Los osteocitos cumplen el papel de células "permanentes" en el hueso, una característica que resalta tanto su durabilidad como su constante contribución al mantenimiento tisular (96). Al avanzar el proceso madurativo del hueso, se observa cómo los osteocitos ven mermada tanto su magnitud espacial como alcanzan mayores niveles subcelulares. Esta transformación acarrea consigo una merma significativa en cuanto al número total por célula respecto de los orgánulos involucrados en la síntesis proteica. Sin embargo, persisten con la síntesis matricial evidenciando así su actividad continua en el mantenimiento estructural óseo (97,98).

Los osteocitos permanecen en cavidades repletas de líquido extracelular y se encuentran rodeadas por una matriz intercelular calcificada con forma laminar. Esta configuración está estrechamente relacionada con la salud y funcionalidad del tejido óseo, especialmente a nivel cortical donde las laminillas adoptan una disposición concéntrica respecto a los conductos haversianos circundantes. Esta organización particular favorece un eficiente intercambio tanto nutritivo como mecánico dentro del sistema óseo (99). Los osteocitos despliegan numerosos procesos celulares para poder interactuar con su entorno y detectar señales de tipo mecánico (97). Esta capacidad es crucial para que el hueso se adapte funcionalmente a las distintas demandas de este tipo. También es importante mencionar que los osteocitos que no entran en apoptosis son fagocitados como parte del proceso de remodelación ósea, lo cual demuestra su contribución activa a la reabsorción ósea (93,94)-

A lo largo de la vida, resulta crucial que se produzca constantemente el fenómeno conocido como remodelación ósea, el cual

garantiza la integridad y resistencia del esqueleto. Es proceso radica en el papel desempeñado por los **osteoclastos** (100) como agentes principales provenientes del linaje hematopoyético para lograr efectuar exitosamente el paso crítico que es la reabsorción ósea (101). Destacan las características de estas células multinucleadas no solo porque son grandes, sino principalmente porque tienen una importante función: pueden transformar constantemente la matriz ósea. Este proceso resulta fundamental tanto para el desarrollo del sistema esquelético como para mantenerlo sano al llegar a ser adultos (102). Las consecuencias derivadas de una regulación inadecuada de la resorción ósea son visibles especialmente en procesos patológicos como la osteoporosis. Esto implica una exacerbación de la absorción de tejido óseo, provocando así fragilidad y debilitamiento progresivo del sistema esquelético (103). En la superficie ósea es donde los osteoclastos realizan su función al crear lagunas conocidas como lagunas de Howship (104). Estas cavidades son utilizadas para llevar a cabo el proceso completo de desgaste del hueso calcificado. Si bien han sido tradicionalmente caracterizadas como células fijas, estudios recientes indican que los osteoclastos tienen habilidades locomotoras al moverse sobre el hueso y realizar procesos esenciales para su resorción. Esta versatilidad funcional demuestra una notable plasticidad en estas células especializadas (105). En la salud de nuestros huesos, los osteoclastos juegan un papel indispensable a pesar de su función mayormente destructiva. Mantener una constante renovación y reparar el tejido óseo son tareas fundamentales que realizan junto a los osteoblastos. El resultado es un adecuado ajuste del esqueleto frente a las diferentes necesidades mecánicas y metabólicas que surjan en el organismo.

I. 2. 2. Remodelamiento óseo: Dinamismo del esqueleto humano.

No se puede considerar al esqueleto humano como una simple estructura inmutable. De hecho, se trata de un entramado vivo que sufre transformaciones a lo largo del tiempo. El equilibrio metabólico del cuerpo depende de manera importante del remodelamiento óseo (106). Este proceso asegura la integridad estructural del sistema esquelético junto con una correcta gestión de minerales tales como el calcio y el fósforo (46). La sustitución sistemática del hueso antiguo y dañado por tejido nuevo es parte fundamental del ciclo de remodelamiento óseo (107). Los eventos celulares que tienen lugar en este proceso, dentro de una misma área del tejido óseo sin modificar su aspecto global, son cuidadosamente controlados y desempeñan un papel clave para mantener tanto los niveles minerales como las propiedades mecánicas adecuadas a lo largo del ciclo vital (108). La remodelación no se trata de un solo evento, sino una serie de eventos que suceden al mismo tiempo e independientemente por todo el cuerpo. Cada diez años, aproximadamente, podemos observar cómo el esqueleto completo se renueva y esto nos muestra la asombrosa capacidad regenerativa del hueso. Los eventos que involucran la resorción y formación ósea son orquestados por las Unidades Multicelulares Óseas (BMU), compuestas por diferentes grupos celulares (109,110).

Recambio óseo: Esqueleto en renovación

Aunque generalmente se piensa que el tejido óseo no cambia y permanece inalterable, la verdad es que este es un tejido dinámico sometido a procesos constantes de regeneración. Garantiza tanto la estructura adecuada del sistema esquelético como la regulación metabólica de minerales clave, incluyendo calcio y fósforo (46). El recambio del tejido óseo depende tanto de la cantidad como de la

actividad de las unidades multicelulares óseas a nivel celular. Estas unidades trabajan en conjunto para permitir una renovación eficiente de $0,025 \text{ mm}^3$ por unidad (111). Al avanzar en edad, podemos notar que la senescencia celular es cada vez más evidente como señal de nuestro propio deterioro físico debido al paso del tiempo, teniendo también un efecto significativo dentro de los cambios estructurales del tejido óseo (112). En algunos casos, puede ocurrir un desequilibrio durante este proceso que resulta en una mayor resorción ósea y menos formación de novo. Esta situación es típica del desarrollo de condiciones como la osteoporosis. El recambio óseo tiene como funciones principales reparar los hueso viejos o deteriorados por el estrés diario ejercido sobre ellos, además de prevenir las consecuencias asociadas al proceso natural del envejecimiento. Sin embargo, si se produce alguna modificación o alteración en este proceso, es posible que se desarrolle alguna enfermedad metabólica ósea (113). Los efectos reguladores regidos por la Ley de Wolff (114) permiten que el sistema osteoarticular pueda adaptarse eficientemente a los cambios y demandas mecánicas presentes. Además, esta ley desempeña una función fundamental tanto en preservar y proteger la estructura normal como en facilitar al organismo su capacidad para recuperarse tras experimentar lesiones o fracturas (115). Una consideración relevante es que en el campo de la odontología moderna se emplea estratégicamente la ley de Wolff. Existen diversos procedimientos odontológicos cuyo objetivo es aplicar correctamente los principios establecidos en esta ley y lograr una mejor alineación dental. Para lograr una mejor disposición dental y mejorar tanto la apariencia como el funcionamiento bucal, es necesario aplicar fuerzas controladas que permitan la reubicación deseada de los dientes dentro de sus respectivos arcos dentales (116).

No obstante, durante el proceso de envejecimiento existe una posibilidad latente de perder dicho equilibrio con serias implicaciones para el sistema óseo tales como problemas relacionados con DMO baja,

incremento significativo de la porosidad cortical o cambios en la composición ósea (117,118).

Alrededor de los 30 años de edad, el tejido óseo humano logra su máxima densidad para después comenzar una fase descendente progresiva (119). La pérdida de masa muscular y ósea debida a los cambios hormonales menopáusicos es más notoria en mujeres de mediana edad (120), lo cual resalta la relación funcional inherente entre estos dos tipos de tejido. Con la evolución normal del ciclo vital se produce una pérdida de hasta el 1% de masa ósea anual desde el momento en el que se alcanza el pico de masa ósea (121). Cuando aparece la menopausia hay un marcado incremento de la resorción ósea; simultáneamente disminuye notablemente tanto la velocidad como también calidad las tasas relacionadas con la formación (122), esto aumenta significativamente el riesgo de padecer osteoporosis en edades avanzadas, así como del riesgo de fracturas (123,124). Tanto las mujeres como los hombres pueden experimentar osteoporosis, posmenopáusica una vez que han pasado años desde la menopausia o cuando llegan a edad avanzada. Los síntomas comunes de esta afección incluyen limitaciones en la movilidad, deformidades físicas visibles, dolor crónico persistente, y a medida que avanza se puede desencadenar discapacidades graves afectando seriamente su independencia provocando pérdida de calidad vida. La deficiencia prematura de estrógenos durante el período menopáusico puede incrementar las posibilidades sufrir enfermedades como la osteoporosis (125).

I. 2. 3. El tejido óseo mandibular y osteoporosis.

Aunque se toma en cuenta a menudo como un indicador estándar para evaluar la fortaleza ósea, hay que señalar que la DMO solamente ofrece una idea parcial sobre su resistencia. Para garantizar su integridad estructural es necesario tener en cuenta tanto la densidad como los

aspectos relacionados con el volumen trabecular, entre ellos están el espaciamiento y conectividad. Estos elementos resultan esenciales al momento de evaluar la arquitectura ósea completa (126). Históricamente, se ha utilizado la medida de BMD mediante DXA como referencia principal en el diagnóstico de osteoporosis (127). No obstante, sería beneficioso considerar una evaluación *in vivo* de la estructura trabecular ósea con el fin de caracterizar correctamente cómo responde al tratamiento y comprender qué factores distintos a los relacionados con DMO contribuyen a definir el estado del sistema esquelético (128).

La BMD mandibular se ha descrito como un factor predictivo importante de osteoporosis esquelética, ya que esta puede afectar directamente a la estructura ósea maxilar (129). Mediante la utilización del análisis radiográfico a través de ortopantomografías se ha verificado que hay notables diferencias en los tejidos óseos mandibulares entre mujeres con osteoporosis y mujeres sin esta condición (130). Según los datos, las imágenes panorámicas dentales podrían convertirse en una herramienta asequible, simple y efectiva para detectar casos tempranos o sospechosos. Mediante el análisis y comparativa entre diversos métodos e información clínica, se puede determinar con certeza si una mujer está propensa a sufrir fracturas a partir de la evaluación de la *trabeculación* mandibular (126).

La detección precisa y temprana de la osteoporosis es crucial para evitar cualquier consecuencia negativa. En el campo odontológico, se destaca la utilidad y aplicabilidad de la imagen panorámica dental como método eficaz para detectar posibles casos de osteoporosis. Como métodos de detección para esta enfermedad, se han desarrollado y propuesto los índices obtenidos a partir de imágenes panorámicas. Los análisis morfológicos del hueso mandibular incorporan indicadores para identificar alteraciones en su calidad que no se detectan mediante mediciones de BMD (130). Un indicador crucial para determinar la

fortaleza ósea y analizar su calidad es el patrón trabecular presente en la mandíbula (131), de esta forma, la posible existencia de asociación entre la DMO y la microarquitectura trabecular del hueso mandibular se ha estudiado para identificar signos tempranos de osteoporosis (132). Analizar el patrón trabecular resulta fundamental debido a que brinda detalles acerca de cómo se encuentra en general el sistema óseo. No solamente se refiere a nivel de densidad; además ofrece información crucial sobre la calidad y solidez óseas. Encontrar desviaciones en los patrones trabeculares observables en radiografías de la mandíbula podría utilizarse como una forma anticipada de detectar y pronosticar el alto riesgo asociado a fracturas ocasionadas por osteoporosis. (131).

La realización habitual de exámenes radiográficos dentales es una práctica común en los adultos que viven en países occidentales. Más allá del propósito principal que es detectar patología bucodental (caries, tumores, fracturas óseas y patología periodontal) estos exámenes también permiten realizar una evaluación completa del estado óseo, incluyendo una estimación precisa de la densidad mineral. La efectividad de las radiografías intraorales para registrar la estructura trabecular del hueso alveolar mandibular permite detectar los cambios relacionados con el proceso de envejecimiento. Un adelgazamiento y perforación de las trabéculas son características distintivas en estas transformaciones, así como también hay incremento en la porosidad y disminución del espesor de las cortezas inferiores mandibulares (126,133,134). La presencia de un patrón trabecular alveolar denso en individuos dentados sugiere una DMO dentro del rango normal. Por otro lado, si el patrón es más disperso y menos definido, podría estar asociado a la presencia de osteopenia (129,130). Más aún, aquellos individuos que presentan historias de fracturas osteoporóticas muestran un incremento en la reabsorción ósea y afinamiento del hueso en la zona inferior de su mandíbula. Esta observación refleja cómo se relaciona el historial clínico con los hallazgos visuales obtenidos por medio de radiografías intrabucales y extrabucales.

(132). El uso de índices radiomorfométricos mandibulares también se ha descrito para la detección de osteopenia en función de la edad (135).

Las consecuencias derivadas de estos descubrimientos son relevantes; estudios longitudinales han encontrado evidencia sólida que muestra cómo tanto la existencia de una *trabeculación* dispersa como un desgaste severo en las cortezas inferiores mandibulares pueden predecir con precisión futura baja DMO u osteoporosis(136) y ponen por tanto el énfasis en el valor que tienen las evaluaciones radiográficas dentales no solo para mantener una buena salud bucal, sino también en su utilidad al identificar a tiempo casos de osteoporosis y evitar posibles fracturas.

El diagnóstico de osteoporosis mediante radiografías panorámicas de la mandíbula.

La historia clínica del paciente odontológico, además de la exploración, es habitual y de rutina complementarla con el estudio radiográfico extrabucal (ortopantografía panorámica) que genera imágenes de las diferentes estructuras anatómicas dentales y óseas evidenciando la normalidad o patologías (137). Su uso genera expectativas más allá del campo odontológico. Varios trabajos de investigación han explorado la utilidad de las radiografías dentales en el diagnóstico precoz de la osteoporosis a través del uso especializado de imágenes panorámicas (138,139). La investigación sostiene que los índices radiomorfométricos obtenidos a partir de imágenes dentales podrían ser una forma prometedora para identificar el riesgo de osteopenia y osteoporosis, aunque su eficacia en el diagnóstico preciso aún se considera moderada (140). Ejemplos de estos índices incluyen el ancho cortical mandibular (MCW), el índice mandibular panorámico (PMI) y el índice cortical mandibular (MCI) (139,141–147). Gracias a estos índices y al amplio uso que se hace actualmente de las radiografías dentales, es posible realizar una evaluación cuantitativa precisa de la

calidad ósea. Esto representa una importante utilidad para el cribado (10,36). El aprovechamiento del uso específico y especializado realizado por las radiografías bucodentales a fin identificar posibles casos vinculados con osteoporosis se configura por tanto como un método prometedor desde una perspectiva diagnóstica (139,148). En el caso de mujeres posmenopáusicas, una técnica potencialmente beneficiosa para identificar a aquellas con baja DMO u osteoporosis podría ser el uso de radiografías panorámicas dentales que permitan observar cortezas inferiores delgadas en el hueso mandibular (141).

En la investigación en metabolismo óseo, el análisis del MCW a través de radiografías panorámicas está ganando terreno como tema de interés. El MCW es definido como una medida que engloba a la corteza inferior de la mandíbula y está localizado bajo el foramen mentoniano. Esta medida se sugiere como un indicador confiable para predecir el estado mineral del hueso, ofreciendo así información valiosa sobre la salud bucodental como sobre la salud ósea sistémica (27). La utilidad del MCW en la valoración del riesgo de osteoporosis en pacientes es notable, especialmente en mujeres posmenopáusicas, quienes suelen presentar una disminución de la DMO como parte del proceso de envejecimiento (27,149). Se ha propuesto que un punto de corte de MCW de 3 mm o menos podría servir como umbral para recomendar una densitometría ósea, subrayando su potencial como herramienta de cribado para la osteoporosis (7,10,139,142-144,150-152). A pesar de su uso extendido y al potencial para identificar individuos con riesgo de baja DMO existe todavía controversia acerca del límite ideal que se debería fijar, e incluso su uso (153), para solicitar pruebas adicionales tales como las DXA (150). La búsqueda por validar y estandarizar las mediciones mediante MCW continúa desarrollándose dentro del ámbito científico y clínico, con el objetivo primordial enfocado a integrar dichas medidas a los protocolos diagnósticos que logren mejorar significativamente la detección precoz de

casos asociados con osteoporosis y como consecuencia disminuir las situaciones donde se pueden producir fracturas (154).

Para calcular el MCI es necesario realizar radiografías panorámicas bilaterales en el borde inferior de la mandíbula, esta da información bilateral de ambos bordes inferiores de la mandíbula, específicamente tras el foramen mentoniano. En el proceso de evaluación, genera tres niveles que son determinados subjetivamente basándose en la presencia de un margen endosteal cortical uniforme y consistente en el nivel 1. Característica distintiva del nivel 2: presencia de defectos semilunares y posible formación de hasta tres capas en el tejido cortical endosteal. En el tercer nivel, las deficiencias semilunares son superiores a tres y se observa claramente una estructura porosa en la capa cortical (139,142,155). A esta clasificación en 3 niveles se le denomina también clasificación de Klemetti o índice de Klemetti (156). Es necesario mencionar que la categoría más alta (nivel 3) señala una posibilidad mucho mayor de tener osteoporosis si se compara con las categorías inferiores. Estos hallazgos tienen implicancias inmediatas al momento de evaluar el riesgo de osteoporosis en práctica clínica. No obstante, hay que señalar que el MCI tiene una tendencia hacia alto nivel en sensibilidad, pero baja especificidad, y por tanto es importante considerar los riesgos asociados a falsos positivos que podría conducir a someter al paciente a un examen DXA innecesario. Se aconseja por tanto combinar el MCI con otros índices o herramientas de evaluación de riesgo clínico para aumentar la precisión del diagnóstico y prevenir procedimientos diagnósticos innecesarios (38,138,139,142-146,157,158).

CAPÍTULO II.

OBJETIVOS

CAPÍTULO II. Objetivos

La osteoporosis, reconocida por su prevalencia mundial, se manifiesta como una considerable preocupación en la salud pública afectando a una vasta población (159). Esta patología sistémica se distingue por una notable reducción de la masa ósea acompañada de un deterioro en la arquitectura ósea, definiéndose actualmente como un desorden esquelético que propicia una resistencia ósea comprometida, predisponiendo a una susceptibilidad elevada hacia fracturas (1,160–162). Es de relevancia mencionar que esta condición resalta como una principal afección en mujeres en la fase de menopausia y continúa siendo la causa predominante de fracturas en mujeres de edad avanzada (159,160).

El diagnóstico de esta enfermedad se realiza primordialmente a través de la densitometría ósea, utilizando específicamente la absorciometría de rayos X de doble fotón en la columna lumbar y cuello de fémur, según lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (163,164). Sin embargo, en el ámbito investigativo, se han explorado otras modalidades para determinar la densidad mineral ósea, incluyendo el ultrasonido de calcáneo o falange y la tomografía computarizada periférica de radio (pQTC).

En la esfera odontológica, la ortopantomografía y las radiografías intrabucales emergen como técnicas recurrentes. La relación entre los resultados derivados de la ortopantomografía y la baja DMO ha sido objeto de análisis en varios estudios, donde se incluyen índices corticales mandibulares y visuales de Klemetti que evalúan la resorción cortical mandibular a nivel de los premolares inferiores (165,166). Estos índices han demostrado potencial en la detección temprana de osteoporosis, sugiriendo la necesidad de evaluaciones y tratamientos adicionales (27,166–168). A fin de entender la correlación entre la mandíbula y otros

huesos del esqueleto en contextos de disminución de DMO, se han llevado a cabo estudios específicos de densitometría en la mandíbula (22,129,169–171). Los hallazgos preliminares sugieren una congruencia en el comportamiento de la mandíbula con otros huesos ante una reducción en la DMO. No obstante, la literatura aún no proporciona estudios que correlacionen la DMO mandibular obtenida por ultrasonido o pQCT con aquella adquirida mediante otras modalidades.

Este panorama subraya la necesidad de investigación adicional para explorar la correlación y la validez de diferentes modalidades diagnósticas en la detección de osteoporosis, lo que podría enriquecer notablemente la praxis tanto odontológica como ortopédica en el manejo y detección temprana de esta enfermedad metabólica ósea.

Los objetivos de la presente tesis doctoral son:

- 1- Determinar si la DMO en la mandíbula experimenta reducciones similares a las de la columna lumbar (LS) y el cuello femoral (FN) en una población posmenopáusica españolas.
- 2- Relacionar la DMO en mandíbula con la DMO obtenida mediante ultrasonido de falange y pQCT.
- 3- Determinar la posible asociación entre el grado de resorción de la corteza mandibular obtenida mediante ortopantografía con los valores DMO obtenido mediante DXA, ultrasonido y pQTC.

CAPÍTULO III.
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO III. Materiales y Métodos

III. 1. La población de estudio

En el marco del Grupo de Investigación de Enfermedades Metabólicas Óseas, perteneciente al Departamento de Enfermería de la Universidad de Extremadura, se llevó a cabo un análisis que incluyó a 210 individuos, siendo 200 de ellos mujeres y 10 hombres, todos residentes en la Comunidad Autónoma de Extremadura. Antes de iniciar la investigación, fue imprescindible obtener el consentimiento informado (incluido en el ANEXO 1) de los sujetos participantes, en concordancia con los preceptos estipulados en la Declaración de Helsinki elaborada por la Asamblea Médica Mundial. La validez ética del estudio fue corroborada mediante la obtención de un dictamen positivo por parte del Comité de Bioética de la Universidad de Extremadura, como se evidencia en el documento con número de registro 02//2018 (detallado en el ANEXO 2).

Para llevar a cabo la valoración de los/las participantes en el estudio, se procedió a la cumplimentación de una historia clínica detallada. Esta historia incluyó, además de información clínica relevante, datos biológicos y antropométricos tales como edad, edad al momento de la primera menstruación, número de años transcurridos desde la menopausia, historial de embarazos, cantidad de hijos e hijos alimentados con lactancia materna, peso y estatura, entre otros. Se efectuó acon todas las participantes una medición de la velocidad de onda ultrasónica a través del calcáneo y se les practicó un análisis densitométricos exhaustivo por medio de absorciometría de rayos X de energía dual en la zona de la columna lumbar (específicamente en las vértebras L2, L3, L4 y el segmento L2-L4), así como en el cuello femoral y el trocánter. De manera adicional, se les sometió a un estudio de tomografía computarizada cuantitativa periférica en el antebrazo no dominante.

Los parámetros establecidos para determinar la elegibilidad de los participantes en la muestra de investigación abarcaron los siguientes puntos:

Criterios de inclusión:

- Haber alcanzado la mayoría de edad
- Estar en fase de postmenopausia, la cual debe haberse iniciado después de cumplir los 45 años, como requisito para formar parte del subgrupo específico de mujeres postmenopáusicas.
- Expresar la aceptación para participar en la investigación de manera escrita, a través de la rúbrica en el documento de consentimiento informado.

Criterios de exclusión:

- Tener condiciones médicas que desaconsejen la realización de un estudio densitométrico completo.
- Poseer un marcapasos o prótesis metálicas en el cuerpo
- Haberse sometido a una densitometría en el transcurso del último año.
- Sufrir de una enfermedad concurrente con un pronóstico de vida limitado.

III. 1. 1. Análisis de subgrupos

En algunas de las investigaciones abordadas en este estudio, se categorizó a los/las participantes de acuerdo con los estándares de la Organización Mundial de la Salud para identificar casos de osteopenia y osteoporosis. Este proceso de estratificación se basó en los resultados obtenidos de la DMO medidos con la técnica DXA. En base en ello, las

mujeres se dividieron en tres categorías: el grupo con densidad ósea normal (con un T-score superior a -1), el grupo con osteopenia (con un T-score entre -1 y -2.5) y el grupo con osteoporosis (con un T-score inferior a -2.5).

III. 2. Diseño del estudio

La estructura de este trabajo de tesis doctoral se fundamenta en un enfoque observacional y de corte transversal.

Los procedimientos metodológicos empleados comprendieron:

1. Recolección de información relacionada con características demográficas, mediciones antropométricas, evaluaciones densitométricas (utilizando DXA, ultrasonidos y pQCT) y datos pertenecientes al estilo de vida.
2. Evaluación odontológica
3. Análisis estadístico de la información recabada y determinación de correlaciones entre los indicadores odontológicos y aquellos vinculados a la salud ósea.

III. 3. Procedimientos de medida

III. 3. 1. Índice de masa corporal

Para la valoración de la estatura se empleó un estadiómetro Harpenden, instrumento de medición de reconocida precisión en estudios clínicos y epidemiológicos (172). Se destaca la alta reproducibilidad de las mediciones, así como su precisión incluso en una única medición (173). El peso se determinó utilizando una balanza biomédica de precisión, lo que garantiza la exactitud necesaria para los cálculos subsiguientes. El índice de masa corporal (IMC) se calculó de acuerdo con la fórmula estándar que divide el peso en kilogramos por el cuadrado de la estatura en metros

(Kg/m²) (174). El IMC es la medida más utilizada para estimar la grasa corporal y tiene importantes implicaciones para la evaluación del estado nutricional y el riesgo de enfermedades. Según las pautas actuales de la OMS, un IMC normal se sitúa entre 18.5 y 24.9. El sobrepeso se define con un IMC de 25.0 a 29.9; la obesidad con un IMC superior a 30.0; y la obesidad severa se define como un IMC de 35 o más (174). Estas clasificaciones son fundamentales dado que la obesidad es una preocupación de salud pública a nivel mundial y las personas obesas enfrentan riesgos aumentados de muerte por enfermedades cardíacas, derrames cerebrales y ciertos tipos de cáncer (175).

III. 3. 2. Determinación de la DMO mediante DEXA

En el marco del presente estudio, se procedió a la evaluación de la DMO en todos los participantes. Esta evaluación se llevó a cabo mediante la técnica DXA, específicamente en regiones críticas como la columna lumbar (en los segmentos L2, L3, L4 y L2-L4), el cuello femoral y el trocánter femoral.

El uso del densitómetro DXA permite la determinación precisa tanto del contenido mineral óseo, expresado en gramos, como del área, medida en centímetros cuadrados, en las ubicaciones mencionadas. Esta metodología facilita por tanto el cálculo automático de la DMO, expresada en gramos por centímetro cuadrado.

Para cada una de los/las participantes involucradas en el estudio, se calcularon las puntuaciones del T-score. Este índice representa una comparación entre el valor medio de la DMO de la paciente y el valor promedio correspondiente a una población de referencia compuesta por mujeres u hombres sanos, de igual sexo y etnia. La relevancia clínica del T-score radica en su utilidad como herramienta estándar para estimar el riesgo de fracturas en un sujeto específico. La DXA es reconocida internacionalmente como una herramienta de evaluación estándar para

determinar el riesgo de osteoporosis u osteopenia y por tanto del riesgo de fracturas por fragilidad (176).

El análisis de la densidad mineral ósea en el estudio se llevó a cabo siguiendo un enfoque estructurado y detallado.

Introducción a la Clasificación del T-score

Como se ha indicado anteriormente, según los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud, la clasificación de la DMO se basa en el T-score, una medida comparativa de la densidad ósea del paciente con respecto a una población de referencia de adultos jóvenes sanos (177).

Categorías de Densidad Mineral Ósea según T-score

- Estado Normal: Un T-score de -1 o mayor indica una densidad ósea normal.
- Osteopenia: Un T-score entre -1 y -2.5 señala una baja densidad ósea, conocida como osteopenia, pero no osteoporosis.
- Osteoporosis: Un T-score de -2.5 o inferior indica la presencia de osteoporosis.
- Osteoporosis Severa o Establecida: Se define por osteoporosis densitométrica acompañada de al menos una fractura por fragilidad.

Metodología de Medición. Para realizar las mediciones de DMO, se utilizó un absorciómetro óseo Norland XR-800© (Norland Corp©, Fort Atkinson, Wisconsin, USA) (Ilustración 1). Este equipo se calibró de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Las imágenes capturadas se procesaron utilizando el software específico del densitómetro.

Control de Calidad y Procesamiento de Datos. Control de Calidad: Se empleó un método de control de calidad utilizando un

calibrador diseñado específicamente para el absorciómetro. Este proceso se llevó a cabo antes de las mediciones de DMO. Procesamiento de Datos: Las mediciones de la DMO se realizaron consistentemente con el mismo absorciómetro, asegurando la uniformidad en los datos recogidos. Ejemplo de los resultados y detalles adicionales se encuentran en el ANEXO 3 del estudio.



Ilustración 1. Vista del Densitómetro Norland XR-800® Ubicado en el Laboratorio del Grupo de Investigación en Enfermedades Metabólicas Óseas. Imagen cedida por el Grupo de Investigación en Enfermedades Metabólicas Óseas.

III. 3. 3. Determinación de la DMO en la mandíbula.

La densitometría se llevó a cabo en la Unidad de Densitometría del Grupo de Investigación en Enfermedades Metabólicas Óseas en la Facultad de Enfermería y Terapia Ocupacional de la Universidad de Extremadura. Se utilizó un absorciómetro óseo Norland XR-800© (Norland Corp©, Fort Atkinson, Wisconsin, USA). A todos/as los/as pacientes se les ofertaron tres tipos de exámenes densitométricos: columna lumbar, cadera y mandíbula. Para realizar la densitometría mandibular, los/las pacientes fueron posicionados según una versión modificada de las indicaciones propuestas por Horner et al. en 1996 (129). Los/las pacientes fueron colocados individualmente en decúbito lateral izquierdo para esta posición específica. Se aseguró que su cabeza estuviera apoyada cómodamente sobre un cojín ubicado en el área parietal izquierda cercana a la articulación temporomandibular. Durante todo el proceso, se cuidó de mantener una correcta alineación entre la cabeza y el cuerpo, inclinando ligeramente el cuello hacia atrás. Esta posición tiene como propósito principal superponer los aspectos contralaterales de la mandíbula sin afectar la columna cervical. Se obtuvo la densidad total y fue calculada por el software integrado del densitómetro. Para calcular estos datos, se compararon los datos de la mandíbula con valores estándar incluidos en el software para el antebrazo, ya que no había datos específicos correspondientes a la mandíbula. Como resultado, se obtuvo la DMO total en la mandíbula expresadas en g/cm^2 . Particularmente para la DMO mandibular, se estableció un criterio de repetibilidad de las mediciones utilizando recomendaciones hechas por la Sociedad Internacional de Densitometría Clínica (ISCD) en 2019 (178).

III. 3. 4. Determinación de ultrasonido óseo cuantitativo

La evaluación de la densidad ósea utilizando la ultrasonografía cuantitativa (QUS) en el calcáneo izquierdo se llevó a cabo con el uso del aparato portátil Achilles EX II (GE Lunar, Madison, WI, USA), destacando su funcionalidad y conveniencia en contextos clínicos variados. La determinación estuvo fundamentada en:

Preparación y Procedimiento de Medición. El equipo fue manejado por un operador especializado, que siguió estrictamente los procedimientos estándar recomendados por el fabricante para garantizar la coherencia y precisión de los resultados. Este enfoque uniforme es crucial para la validez de los datos recopilados en estudios clínicos.

Control Riguroso de Calidad. Una parte integral del proceso fue el control de calidad regular del equipo. Esto incluyó recalibraciones frecuentes, especialmente después de cualquier movimiento del dispositivo, utilizando estándares provistos por el fabricante. Esta práctica asegura la confiabilidad y exactitud de las mediciones.

Parámetros Claves en la Evaluación de la Densidad Ósea. El estudio se centró en dos parámetros específicos derivados de la QUS. **Atenuación de Ultrasonido de Banda Ancha (BUA):** Este parámetro mide la absorción de ondas sonoras por el hueso, considerando mecanismos de difracción, dispersión y absorción en el hueso, la médula y los tejidos blandos (179). **Velocidad del Sonido (SOS):** Evalúa la elasticidad y la densidad del hueso, siendo un indicador clave de la rigidez ósea (179).

Relevancia Clínica de la QUS en la Densidad Ósea. Los estudios han demostrado que los índices de QUS están significativamente asociados con la DMO, la microarquitectura ósea y los parámetros mecánicos. Además, la QUS puede discriminar entre sujetos con y sin historial de fracturas y predecir el riesgo de fracturas futuras (180). Se ha

encontrado que la QUS del talón (Heel-QUS) predice fracturas osteoporóticas de manera independiente a los factores de riesgo clínicos y la BMD (181).

La QUS se por tanto una herramienta no invasiva y efectiva para la evaluación y el seguimiento de la salud ósea, así como para la predicción de riesgos asociados con enfermedades como la osteoporosis. La combinación de precisión en el procedimiento y la significativa relevancia clínica de los parámetros de QUS hacen de este enfoque una metodología valiosa en el campo de la investigación ósea y el diagnóstico clínico.

III. 3. 5. Evaluación de la DMO Cortical y Trabecular usando pQCT

La tomografía periférica cuantitativa (pQCT) se realizó utilizando un equipo Stratec XCT 2000 (Stratec Medizintechnik GMBH, Pforzheim, Germany) (Ilustración 2). Este dispositivo es conocido por su capacidad para reconstruir volumétricamente la distribución de densidades en el hueso. La técnica fue empleada específicamente para cuantificar la densidad mineral ósea cortical y trabecular en el radio distal de la mano no dominante. Además, el equipo facilitó el cálculo de la resistencia ósea a la rotura y torsión, expresado esto como índices de resistencia a la tensión axial y polar.

Aspectos Técnicos y Aplicaciones del Stratec XCT 2000. El Stratec XCT 2000 se destaca por su precisión y versatilidad en el análisis del hueso. Es capaz de diferenciar y analizar de manera automática los compartimentos óseos trabeculares y corticales. El equipo es un escaner de paso y barrido que además determina, el contenido mineral óseo (BMC), el ancho y volumen cortical, o el área transversal del radio, con el fin de obtener parámetros biomecánicos como el índice de tensión-deformación (SSI) y el momento de inercia (182,183).

Evaluación de la Precisión y Fiabilidad del pQCT. Estudios han evaluado la precisión del Stratec XCT 2000 en la medición de huesos de baja densidad, comparando los resultados del pQCT con técnicas como la histomorfometría. Además, se ha investigado la asociación entre los parámetros geométricos medidos por pQCT y la densidad mineral ósea areal (aBMD) medida por DXA (184)

Importancia Clínica y Aplicaciones en Estudios Normativos. Se ha subrayado la importancia de la técnica de pQCT para la evaluación de la salud ósea en diferentes grupos de edad (185). Sin embargo, es importante mencionar que en 2015, la Sociedad Internacional de Densitometría Clínica no recomendó el uso rutinario del pQCT en entornos clínicos hasta que se lograra la consistencia en los protocolos de adquisición de imágenes y análisis, así como en estudios normativos (186).

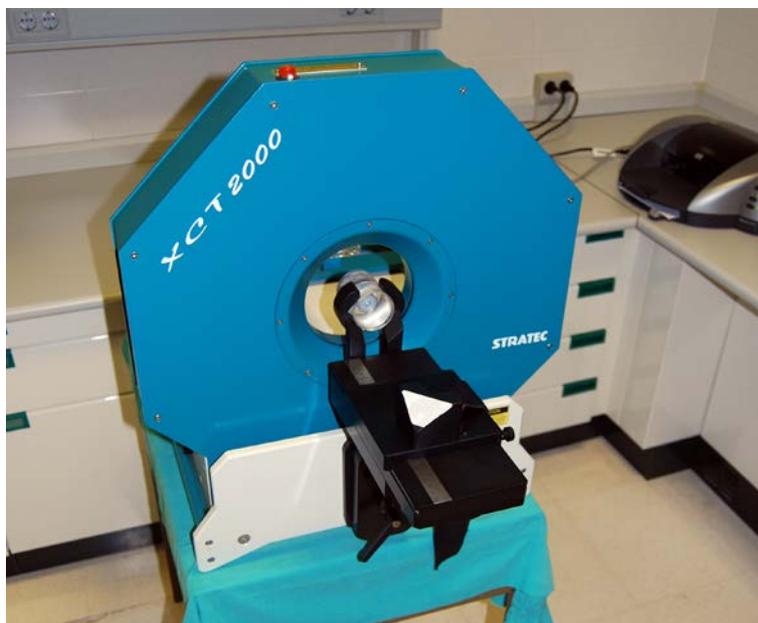


Ilustración 2. Equipo Stratec XCT 2000 de Stratec Medizintechnik GMBH, situado en el laboratorio del Grupo de Investigación en Enfermedades Metabólicas Óseas. Imagen cedida por el Grupo de Investigación en Enfermedades Metabólicas Óseas.

III. 4. Índices odontológicos relevantes.

En el presente estudio se han estimado diferentes índices obtenidos de radiografías panorámicas dentales. La definición y validación de estos índices se ha realizado de forma profusa en la comunidad científica de odontología (161,165,166,187-191).

La Ilustración 3 muestra una radiografía original tipo, con un marco definido para calcular índices, mientras que la Ilustración 4 presenta líneas de interés (a, b, c, d, e, f) y puntos (A, B, C, D, E, F) en dicho marco. La lista de índices relevantes que fueron calculados y analizados comparativamente incluye:

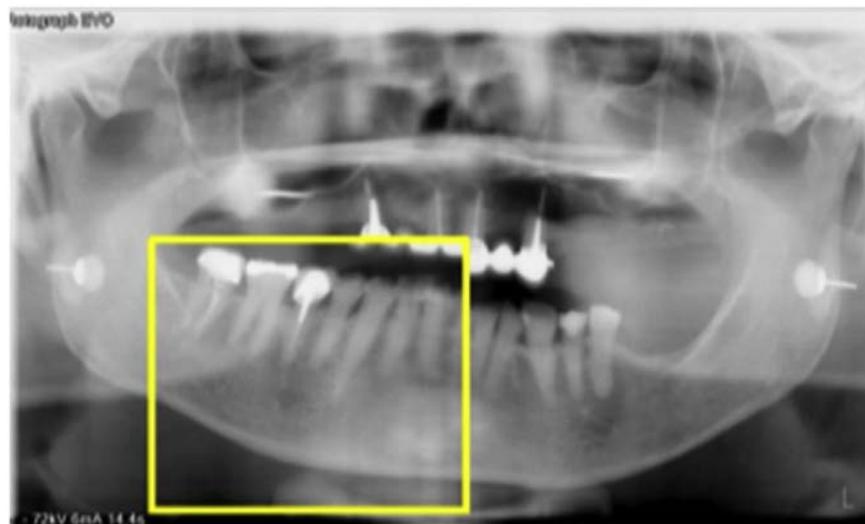


Ilustración 3. Imagen panorámica original con un área de interés (ROI) definida para el cálculo de índices. Reproducida con permiso de Aliaga I et al. Artificial Intelligence in Medicine, 2020 (191)

El Índice de Grosor Cortical Mandibular, también conocido como Índice Mental (MI), Ancho Cortical Mandibular (MCW), o Espesor Cortical Mandibular, es una medida que se determina por el ancho del borde inferior de la mandíbula, ubicado debajo de los dos forámenes mentales (138,168,192,193). Esta medición se realiza calculando la distancia entre los puntos A y B (191), tal como se muestra en la Ilustración 4.

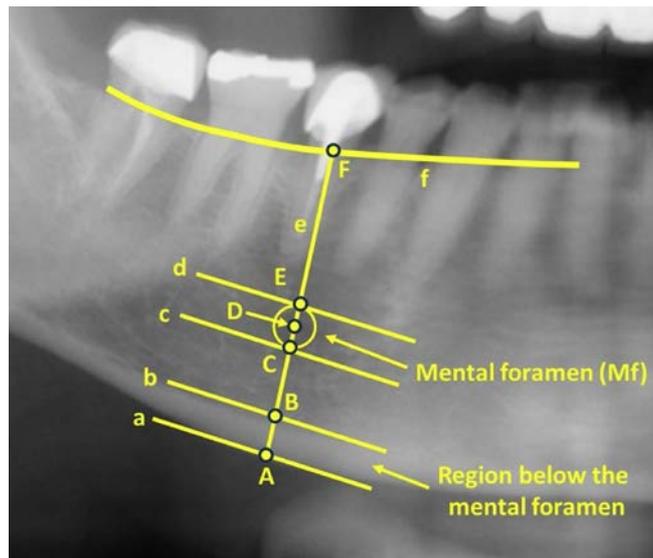


Ilustración 4. Imagen panorámica original con un área de interés (ROI) e identificación de segmentos, puntos y regiones de interés. Reproducida con permiso de Aliaga I et al. Artificial Intelligence in Medicine, 2020 (191)

El Índice Mandibular Panorámico (PMI) (194,195) se calcula como la relación entre el ancho de la corteza mandibular, $d(A,B)$, y la distancia desde el foramen mental hasta el margen inferior de la corteza mandibular. Se pueden medir dos valores de PMI, como se muestra en la Ilustración 4, los cuales se diferencian en el margen superior (PMIs, que implica la distancia entre los puntos E y A, $d(E, A)$) y el margen inferior (PMIi, distancia entre los puntos C y A, $d(C,A)$), según si la distancia se mide desde los límites superiores o inferiores del foramen. El índice PMI final se calcula como el valor promedio de ambos, $PMIs (=d(B, A)/ d(E,A))$ y $PMIi (=d(B,A)/ d(C,A))$, es decir, $PMI = (PMIs + PMIi)/2$ (191).

El Índice Cortical Mandibular (MCI), conocido también como Índice de Klemetti (KI) o Erosión Cortical (156,192,196), se utiliza para evaluar la porosidad ósea en la región mental de la mandíbula, partiendo del supuesto de que la osteoporosis se relaciona directamente con la disminución de la masa ósea y el deterioro del tejido óseo. Como método alternativo al cálculo de la densidad mineral ósea, que generalmente se determina mediante absorciometría de rayos X de doble energía este índice utiliza la detección de variaciones locales en los niveles de

intensidad de grises (197). El índice IDIOS (un índice de referencia valioso que facilita la evaluación de otros índices de detección de osteoporosis basados en imágenes dentales) (148) ofrece una puntuación del 64.77 %, proporcionando evidencias significativas de osteoporosis.

La Clasificación de Klemetti se fundamenta como se ha indicado en la evaluación de la erosión cortical mandibular para realizar el diagnóstico de osteopenia y osteoporosis a través del uso las radiografías panorámicas dentales. Según esta clasificación, el estado cortical se categoriza en tres niveles (C1, C2 y C3): Se pueden apreciar abundantes residuos endostiales corticales y una porosidad significativa en el C3, indicando así una erosión severa. Estas categorías desempeñan una función vital en el diagnóstico temprano de problemas óseos como la osteopenia y osteoporosis, especialmente entre las personas de más edad. El índice ha mostrado su utilidad en diferentes contextos clínicos, por ejemplo en personas mayores, se observó una fuerte asociación entre los valores bajos del índice Klemetti y la falta de presencia de osteopenia u osteoporosis definidas por las mediciones realizadas mediante absorciometría dual energética a nivel del talón (198).

III. 4. 1. Automatización del cálculo de los índices mediante software.

Las radiografías digitales panorámicas dentales de los pacientes participantes en el estudio se obtuvieron con un equipo Villa Sistemi Medicali, Radiograph EVO DIGITAL, CEI-OPX/105, utilizando 72 kV, 6 mA y 14.4 s de exposición, fueron guardadas en formato JPEG con una resolución de 1536 × 2573 píxeles, siendo consideradas como imágenes con una intensidad de calidad suficiente.

Las imágenes fueron procesadas posteriormente con el software Matlab R2018b (199), instalado en un equipo con un procesador Intel Core i7 2.0 GHz, 8 GB de RAM y sistema operativo Windows 10 Pro (64-

bits). Estas imágenes pueden presentar diversas estructuras y morfologías complejas que podemos resumir en : límites poco claros en el borde inferior de la mandíbula, partes borrosas en estructuras óseas, imágenes mal posicionadas por errores de captura o falta de cooperación del paciente, irregularidades en los límites de las mandíbulas con curvaturas cambiantes, foramen mandibular con formas irregulares, alineaciones dentales malformadas, implantes y rellenos dentales que distorsionan niveles de intensidad circundantes, y diferentes niveles de intensidad en el hueso mandibular incluso en la misma imagen(191).

Para el procedimiento de análisis se selecciona la carpeta donde están las radiografías a analizar (Ilustración 5)

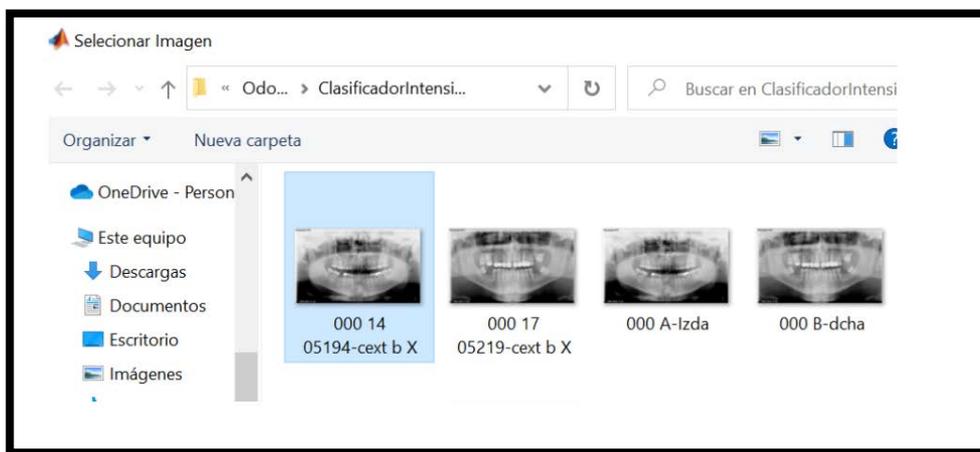


Ilustración 5. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Selección de la carpeta con las radiografías a analizar.

Una vez seleccionada la imagen, ésta aparece sobre la pantalla y a continuación se realizan los siguientes pasos para determinar los puntos clave descritos anteriormente (A, B, C, D, E y F) con los que se obtienen los índices (Ilustración 4).

Para realizar este proceso:

1. Trazar una recta tangente sobre la parte inferior de la mandíbula, sería la recta (a) de la Ilustración 4. Esta línea se puede mover hasta que esté perfectamente ajustada y

quede marcada en amarillo por el software (Ilustración 6). Tras lo cual se procede a pulsar dos veces con el botón izquierdo del ratón.

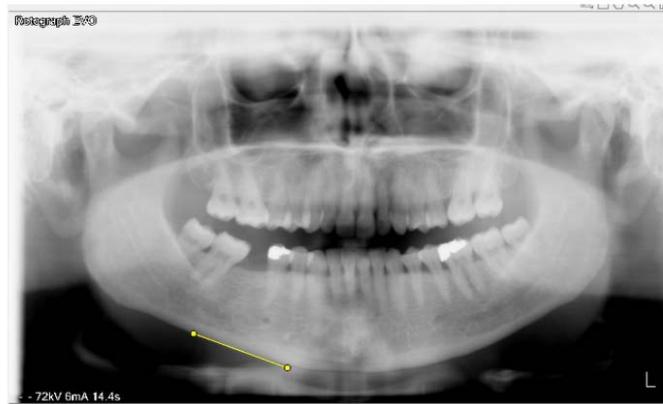


Ilustración 6. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Trazado de una recta tangente sobre la parte inferior de la mandíbula, recta (a) de la Ilustración 4.

2. A continuación, aparece el cursor para marcar el centro del agujero mentoniano. Con el botón izquierdo se posiciona el punto. Se puede mover cuanto se desee para dejarlo adecuadamente ajustado (Ilustración 7). Al finalizar nuevamente se pulsa dos veces con el botón izquierdo. Este es el punto lo definimos como el punto D de la Ilustración 4.

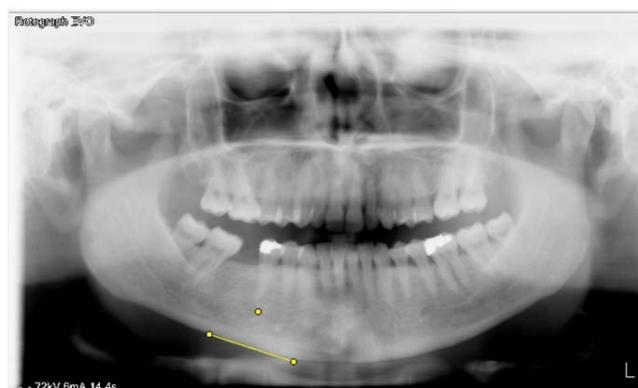


Ilustración 7. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento del punto "D" de la Ilustración 4.

3. Una vez seleccionado el agujero "D" procedemos a seleccionar una serie de puntos a lo largo de la mandíbula

con los dientes para ajustar la línea (f) (Ilustración 4). Para ello, con el botón izquierdo del ratón se seleccionan tantos puntos como se deseen. Cuando ya no se quieran más puntos el último se fija con el botón derecho del ratón. Es necesario marcar 8 o más puntos (cuantos más mejor). El resultado se muestra en la Ilustración 8.

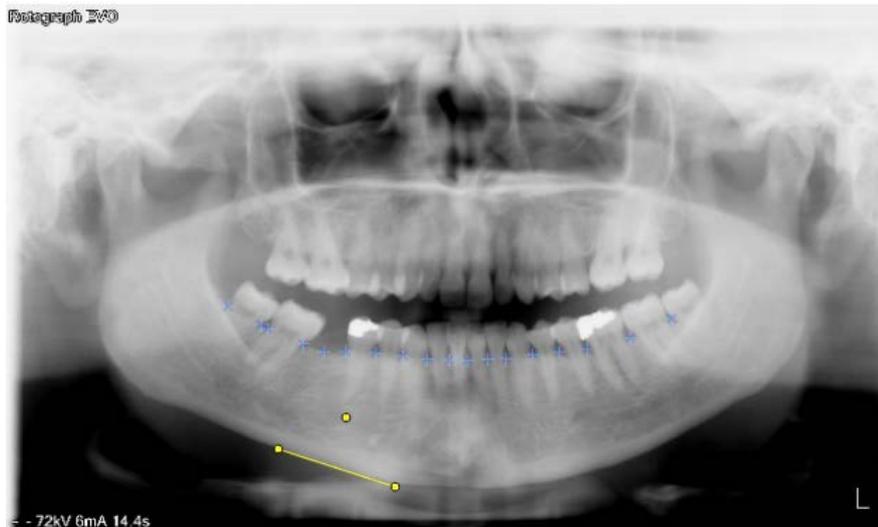


Ilustración 8. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento de la línea "f".

4. Al marcar el último punto con el botón derecho del ratón se marca la línea (f) y además se traza la perpendicular a la tangente (a) que pasa por el centro del Agujero Mentoniano (D). En el software aparecerá marcada en magenta. A partir del establecimiento de esta línea se pueden definir los puntos A y F, que serán marcados con un círculo blanco (Ilustración 9).

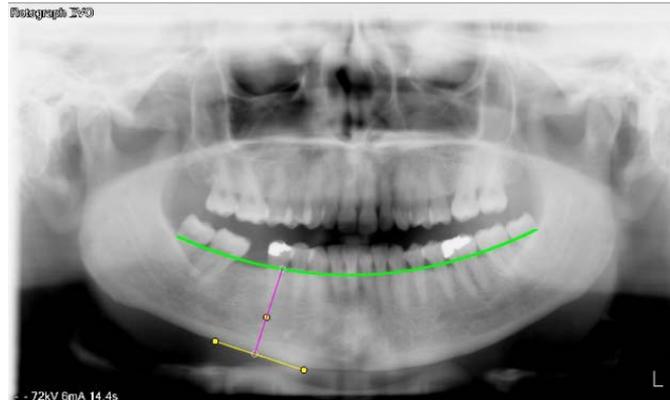


Ilustración 9. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento de la línea (a) y puntos A y F.

5. En la imagen aparecen ahora las dos líneas marcadas, la tangente en amarillo (a) y la perpendicular en magenta (e). Sobre esta nueva imagen marcaremos los puntos B, C y E que nos faltan manualmente (Ilustración 4).
6. Los puntos deben seleccionarse siguiendo el orden siguiente: primero B, segundo C y tercero E. Los dos primeros (B y C) se seleccionan con el botón izquierdo del ratón y el tercero con el derecho, quedando marcados en distintos colores (Ilustración 10). Si se seleccionaran más de tres puntos, volvería a generarse una nueva ventana exactamente igual que la anterior para repetir el proceso de selección de los tres puntos nuevamente.

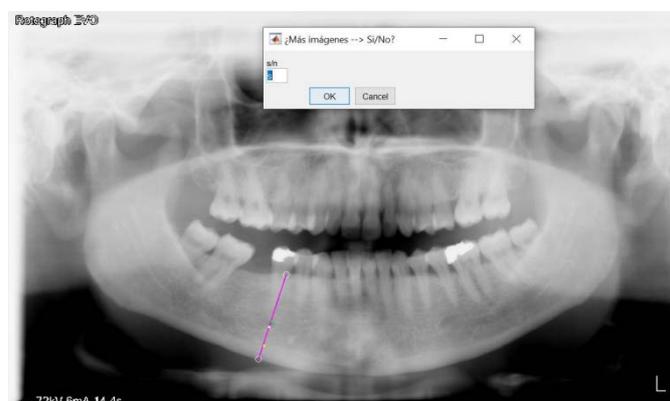


Ilustración 10.. Automatización del proceso de cálculo de los índices odontológicos de interés. Establecimiento de los puntos B, C y E.

7. En este momento el software genera ya los diferentes índices requeridos mediante una salida de datos como la que se muestra en la Ilustración 11.

```
Command Window
>> IndicesOsteoporosisManual
Seleccionar imagen
000 14 05194-cext b X.JPG
Trazar una recta tangente por la parte inferior de la mandíbula
Hacer doble clic sobre la línea al terminar el ajuste
Seleccionar Centro del agujero mentoniano
Seleccionar puntos botón izquierdo sobre la base de los dientes. Ultimo pixel a seleccionar con botón derecho
Selecciona puntos B y C con botón Izquierdo en este orden y punto E con boton Derecho
MCW or MI: 56.1802 pixels
PMI: 0.39632
M/M: 2.3047
Ultima imagen analizada: 000 14 05194-cext b X
```

Ilustración 11. Automatización del proceso de cálculo de los índices odonológicos de interés. Ejemplo de salida de resultados mostrando el cálculo de los diferentes índices MCW y PMI.

III. 5. Análisis estadístico

Todos los valores fueron expresados como mediana y rango intercuartílico. Se utilizaron procedimientos de análisis no paramétricos incluyendo el test de Kruskal Wallis y el test de la U de Mann Whitney. Los análisis de correlación entre diferentes variables cuantitativas se realizaron mediante el cálculo del coeficiente Rho de Spearman. Para algunos análisis las correlaciones variadas fueron ajustadas (correlaciones parciales) por diferentes factores de confusión.

Se adoptaron procedimientos estadísticos rigurosos para evaluar la asociación entre diversas variables predictoras y la prevalencia de baja masa ósea (definida como osteopenia/osteoporosis) global, en la columna o en la cadera. Se utilizaron para ello modelos de regresión logística, cuya idoneidad se estableció mediante la comparación entre dos modelos: el modelo nulo (H_0), que no incorpora variables predictoras y sirve como punto de control, y el modelo alternativo (H_1), que incluye variables de interés (DMO en la mandíbula, MCW (I) (D), PMI (I) (D) y clasificación de Klemetti (D) (I)). Se calcularon criterios informativos como el Índice de

Información de Akaike (AIC) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC), para determinar la bondad de ajuste del modelo. Además, se empleó el estadístico χ^2 para probar la significancia de la mejora del modelo alternativo sobre el nulo. Se estimaron varias medidas de bondad de ajuste, incluyendo el R^2 de McFadden, Nagelkerke R^2 , Tjur R^2 y Cox & Snell R^2 , para cuantificar la varianza explicada por el modelo alternativo.

Los diferentes modelos de regresión logística propuestos permitieron estimar las odds ratios (OR) y evaluar la significancia estadística de las asociaciones. En todos los casos el modelo propuesto incluyó un término de intercepción y la variable independiente analizada en cada caso (DMO en la mandíbula, MCW (I) (D), PMI (I) (D) y clasificación de Klemetti (D) (I)). Se calculó la estimación de los coeficientes del modelo y su error estándar correspondiente. La OR proporciona una medida de la relación entre la variable independiente que correspondiera y la probabilidad de presentar baja masa ósea global, en la cadera o en la columna. Para evaluar la significancia estadística de las estimaciones, se realizó el test de Wald. Este test calcula el estadístico z y proporciona un p-valor asociado. Se han calculado adicionalmente los intervalos de confianza al 95% para las OR.

Para los modelos de regresión logística propuestos se estimaron también diferentes métricas de rendimiento de los diferentes modelos. Estas incluyeron la exactitud, el Área Bajo la Curva (AUC), la sensibilidad, la especificidad y la precisión. Todas se calcularon para cuantificar la capacidad predictiva del modelo. La exactitud fue calculada al contrastar todas las predicciones acertadas con todas las predicciones efectuadas. Utilizando el AUC como medida integral, se evaluó la capacidad del modelo para diferenciar entre los casos positivos y negativos. Un AUC de 1.0 indica una discriminación perfecta del modelo, mientras que 0.5 implicaría una capacidad no mejoraría la identificación de los casos al azar. Cuanto mayor sea el valor obtenido en el AUC mejor será el modelo.

La proporción de verdaderos positivos correctamente identificados se indicó mediante la sensibilidad y se utilizó la especificidad para valorar la proporción de verdaderos negativos acertadamente. Para calcular la precisión, se tomaron en cuenta las predicciones positivas que resultaron ser correctas en relación con el número total de casos positivos.

Se utilizó el análisis de curvas de Características Operativas del Receptor (ROC) para determinar la capacidad de la DMO mandibular en la predicción de la presencia de baja masa ósea. Se calculó la sensibilidad y especificidad del predictor a varios puntos de corte. Sensibilidad (tasa de verdaderos positivos): Proporción de verdaderos positivos de baja masa ósea correctamente identificados. Especificidad (tasa de verdaderos negativos): Proporción de individuos sanos correctamente identificados. Se determinó el AUC para cuantificar la capacidad predictiva global del modelo. Para finalizar se calculó el Punto de Corte Óptimo (DMO de la mandíbula) que maximiza la sensibilidad y la especificidad, utilizando el índice Youden. Esta cifra se plantea como el punto límite para predecir adecuadamente baja masa ósea a través del análisis de DMO en la mandíbula.

El umbral de significación utilizado en todas las pruebas estadísticas realizadas en este trabajo fue de $p=0.05$.

Para la realización de todas las pruebas estadísticas se utilizó el software IBM® SPSS® Statistics 22 (IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

III. 6. Consideraciones éticas

El presente estudio se ajustó en todo momento a los principios éticos y normas legales establecidos, y en especial a lo referido a la siguiente normativa:

- La Declaración de Helsinki (Asamblea Médica Mundial).
- El Convenio del Consejo de Europa relativo a los derechos humanos y la biomedicina.
- La Declaración Universal de la UNESCO sobre los derechos humanos.
- Se han tenido en consideración los requisitos establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica, la protección de datos de carácter personal y la bioética, la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica referente a la investigación en humanos o la utilización de muestras de origen humano, así como el Real Decreto 1090/2015, de 4 de diciembre, relativo a los proyectos que comporten ensayos clínicos.
- Se han tenido en consideración los requisitos establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica y la bioética. Se ha respetado la normativa Europea y legislación española respecto a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

CAPÍTULO IV. Resultados

IV. 1. Parámetros antropométricos, biológicos y hábitos de vida de la muestra de estudio.

En el análisis desglosado según género, se observa una distribución heterogénea en las distintas variables biométricas examinadas (tabla 1). En el grupo de hombres, la mediana de la edad fue de 44.5 años, con un rango intercuartílico (RIQ) de 11.75 años y un rango de 20 a 58 años. En el grupo de las mujeres, la mediana fue de 59 años (RIQ=10 años) ($p<0.001$).

Respecto del peso, se ha obtenido una mediana de 73.2 kg para los hombres con un RIQ de 15.9 kg (61.6-134.5 kg). Por su parte, las mujeres presentan una mediana de peso de 64.85 kg (RIQ= 15.3 kg) (46.3-121.8 kg) ($p=0.021$).

En relación con la talla, los datos reflejan una mediana de 1.73 metros en hombres, con un RIQ de 90 cm, presentando el grupo de mujeres una mediana de 1.56 metros (RIQ= 73 cm) ($p<0.001$).

En cuanto al Índice de Masa Corporal (IMC), el grupo masculino presenta una mediana de 23.2 kg/m² con un RIQ de 6.4 kg/m² (22-42.9 kg/m²) y las mujeres una mediana de 26.35 kg/m² (RIQ=5.95 kg/m²) (17.6-48.2 kg/m²). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio ($p=0.387$)

Finalmente, respecto del índice cintura/cadera, los hombres muestran una mediana de 0.877 (RIQ=0.097) y las mujeres presentan una mediana de 0.819 (RIQ=0.093) (0.618-1) ($p=0.004$).

Tabla 1. Parámetros antropométricos en la totalidad de la muestra

		n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
Edad	Hombre	10	0	44.50	11.75	20.00	58.00	<0.001
	Mujer	200	0	59.00	10.00	20.00	82.00	
Peso (kg)	Hombre	9	1	73.20	15.90	61.60	134.50	0.021
	Mujer	200	0	64.85	15.30	46.30	121.80	
Talla (m)	Hombre	9	1	1.73	0.090	1.67	1.80	<0.001
	Mujer	200	0	1.56	0.073	1.42	1.74	
IMC (kg/m²)	Hombre	9	1	23.20	6.40	22.00	42.90	0.387
	Mujer	200	0	26.35	5.95	17.60	48.20	
Índice cintura/cadera	Hombre	10	0	0.87	0.097	0.792	0.989	0.004
	Mujer	195	5	0.81	0.093	0.618	1.00	

Los indicadores reproductivos y gonadales femeninos estudiados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Indicadores reproductivos y gonadales femeninos

	n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max
Edad de menarquia	199	11	13	2	9	16
Años Menopausia	198	12	8.5	12	0	55
Embarazos (n)	200	10	2	2	0	7
Hijos (n)	200	10	2	2	0	6
Lactancia acumulada (meses)	199	11	4	10	0	121

La mediana de la edad de menarquia se encuentra en 13 años con un RIQ de 2 indicando una dispersión moderada en torno a la media. El rango de edad de menarquia de las participantes fue de 9 a 16 años.

Respecto a la variable años desde la menopausia, la mediana es de 8.5 años (RIQ=12) (0-55 años).

En cuanto a la variable embarazos la mediana es de 2 (RIQ=2), con una mediana de hijos por participante es de 2 (RIQ=2) (0-6 hijos).

Finalmente, en lo que respecta a la lactancia acumulada la mediana en meses es de 4 (RIQ=10), denotando una amplia variabilidad en las horas de lactancia acumulada entre las participantes.

IV. 2. Historial de fracturas

En la tabla 3 se ofrece la distribución desglosada del historial de fracturas (Fx) de los/las participantes en el estudio. Se ha realizado una categorización binaria en cuanto a los antecedentes relacionados con el historial según: presencia ("Sí") o ausencia ("No"). No se observan asociación entre la presencia de fracturas y el sexo de los/las participantes ($p=0.26$)

Tabla 3. Historial de fracturas en el total de la muestra por sexo.

Fx Paciente	Sexo		Total
	Hombre	Mujer	
No	10	177	187
Sí	0	23	23
Total	10	200	210

Entre las mujeres que forman parte de la muestra se reporta que 177 de ellas no presentan historial de fracturas frente a 23 que sí.

Desde un punto de vista global, se muestra que de los/las 210 participantes, 187 no poseen historial de fracturas previas (89.05% de la muestra total). Por el contrario 23 participantes en el estudio si tienen antecedentes de fractura (10.95% restante de la muestra).

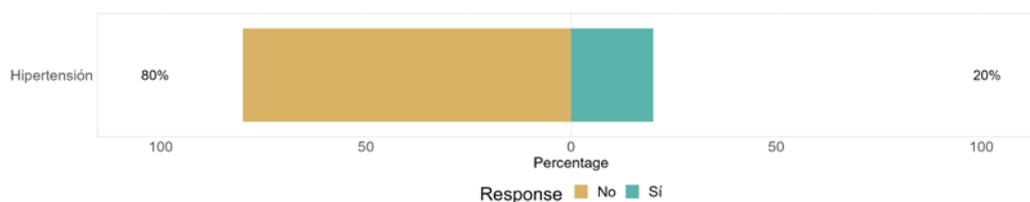
En lo que respecta a los antecedentes de fractura paterna, dentro del grupo de hombres, de los 10 ninguno presenta antecedentes de fractura paterna. Entre las mujeres 199 reportan no tener antecedentes de fractura paterna (1 reporta tener dichos antecedentes). En conjunto de los 210 participantes en el estudio, 209 indican no tener antecedentes de fractura paterna (99.52% de la muestra). Solo un participante (0.48% de la muestra) presenta antecedentes. No se observa asociación estadísticamente significativa entre el sexo de los participantes y la presencia de antecedentes de fractura paterna ($p=0.82$).

Respecto de los antecedentes de fractura materna entre los hombres, son 7 los que no tienen antecedentes (70%). En el grupo de participantes femeninos, 165 no presentan antecedentes maternos (82.5% de las mujeres). Por otro lado, 35 mujeres (17.5% de las mujeres) si reportan tener antecedentes de fractura materna. En conjunto, de los 210 participantes, 172 (81.9%) no tienen antecedentes de fractura materna frente a 38 participantes (35 mujeres y 3 hombres (18.1%)) que si reportan tener dichos antecedentes.

IV. 3. Comorbilidades

La presencia de hipertensión entre las/los participantes se categorizó como una variable binaria segregando: 'Sí', indicando la presencia de hipertensión, y 'No', señalando su ausencia. Una mayoría significativa de los participantes (80%, n=164) de los que proporcionaron información válida, no presentan hipertensión. Esta proporción, que representa una notable mayoría, resalta una prevalencia baja de hipertensión entre los participantes del estudio. Por otro lado, el 20% de los/las participantes (n=41) con datos válidos fueron identificados como hipertensos (Ilustración 4)

Ilustración 12. Prevalencia de hipertensión en la muestra de estudio

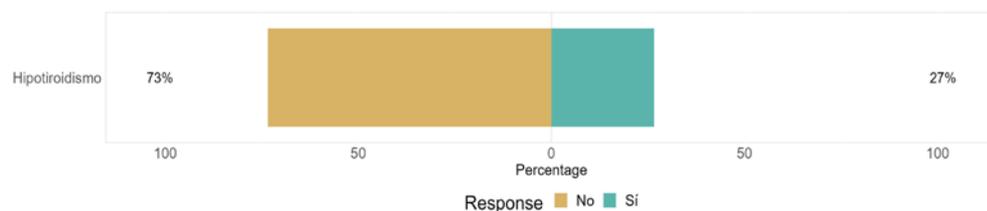


Por sexos del total de 10 participantes masculinos el 80% (n=8) no presentan hipertensión frente al 20% restante (n=2) que están diagnosticados como hipertensos. En el grupo de mujeres el 80% (n=156), no exhiben signos de hipertensión, frente a también el 20% (n=39

mujeres) que sí son hipertensas. No existen diferencias estadísticamente significativas ($p=1$). En esta categoría, se registraron 5 casos (2.5%) donde la información sobre la hipertensión no fue accesible.

Respecto de la presencia de hipotiroidismo los datos se muestran en la Ilustración 5. El 73.43% ($n=152$), no presenta hipotiroidismo, frente a un 26.57% de la muestra ($n=55$) que han sido identificados con hipotiroidismo (3 casos (el 1.43%) en los cuales la información sobre el estado de hipotiroidismo no está disponible).

Ilustración 13. Prevalencia de hipotiroidismo en la muestra de estudio

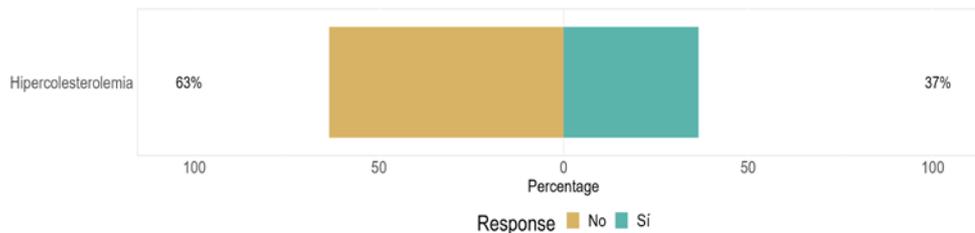


Por sexo de los participantes, en el grupo de hombres se observa que, ninguno presenta hipotiroidismo, mientras que entre las mujeres 142 (71%) tampoco presentan hipotiroidismo frente a 55 (27.50%) que, si lo padecen, no siendo este resultado estadísticamente significativo ($p=0.051$). Los porcentajes válidos presentan ligeras variaciones con 72.08% y 27.92% respectivamente, debido a la exclusión de casos con datos faltantes. En total son 3 casos (1.50%) en los cuales la información sobre el hipotiroidismo no estuvo disponible.

Respecto de la presencia de hipercolesterolemia (Ilustración 6), se recopilaron datos sobre la muestra total de 210 individuos. Se observa que un pequeño porcentaje (1%) de los pacientes tiene un estado de hipercolesterolemia "Desconocido" debido a la falta de información o registro sobre su condición en el momento de la recopilación de datos.

La mayoría de los/las pacientes, el 62.9% (n=132), no presentan hipercolesterolemia. Por otro lado, el 36.2% de los/las sujetos de estudio sí tienen hipercolesterolemia.

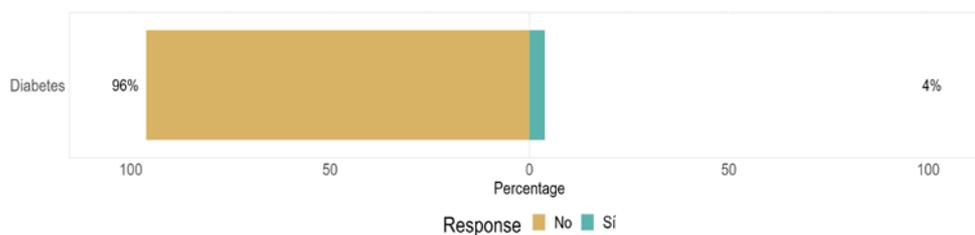
Ilustración14. Prevalencia de hipercolesterolemia en la muestra de estudio



Respecto de la presencia de hipercolesterolemia en función del sexo de los participantes se observó que el 70% de los hombres no la presentan. En el grupo de mujeres el porcentaje es menor, del 62.5% frente a un 36.5% de las mujeres participantes en el estudio que si tienen hipercolesterolemia. Respecto de esta variable se han registrado 2 casos (1%) con datos faltantes. A pesar de la diferencia observada esta no es estadísticamente significativa entre los grupos de estudio ($p=0.660$).

En la Ilustración 7 se muestran los resultados relacionados con la presencia de diabetes en la muestra de estudio.

Ilustración 15. Prevalencia de diabetes en la muestra de estudio



El 94.8% de los pacientes en la muestra no es diabético. Se observan 3 casos (1.4%) en los que la información sobre el diagnóstico de diabetes no está disponible.

En el grupo de hombres no hay ninguno diagnosticado con diabetes y no hay datos faltantes. En el grupo de mujeres, el 94.5% (n=189) no

tienen diabetes, frente al 4% (n=8) sí son diabéticas. Se reportan 3 casos (1.5%) con datos faltantes en este grupo. No existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio (p=0.516).

Respecto de la presencia de otras comorbilidades (analizadas de forma conjunta) el 47.6% de los pacientes en la muestra no las presenta, mientras que el 51.9% de los/las participantes (n=109) sí. Esto implica que una proporción significativa de la muestra padece condiciones médicas adicionales. Las mismas podrían variar desde enfermedades cardiovasculares hasta problemas metabólicos u otras afecciones relacionadas. Se registra un caso (0.5%) con datos faltantes. Entre los hombres el 30% no tienen otras comorbilidades. En cuanto al grupo de mujeres es el 48.5% de las mismas el que no presenta comorbilidades mientras que el 51% (n=102) sí las tienen (p=0.247). Se registra un caso (0.5%) con datos faltantes en este grupo.

IV. 4. Actividad física

La determinación de la actividad física de los participantes en el estudio se realizó mediante la inclusión en alguna de las tres categorías siguientes: activo, moderado y sedentario. En el total de la muestra la mayoría la componen individuos identificados como activos (n=106, 50.5%), (55.5% de la muestra válida). Una actividad física moderada se reportó en 46 individuos (21.9%) (24.1% de la muestra válida). Los/las individuos clasificados como sedentarios suponen 39 (18.6% y 20.4% de la muestra válida).

Se presentan 19 casos de datos faltantes (9% de la muestra total).

En el grupo de hombres, la categoría con mayor frecuencia fue la de sedentarios con un 40% (n=4) (44.4% de los datos válidos). Los hombres activos suponen 3, constituyendo (30%, 33.3% de la muestra

válida) y la categoría de actividad física moderada incluye 2 hombres (20%, 22.2% de los datos válidos). Existe un caso de datos faltantes.

En el grupo de mujeres, la categoría de activas es la más numerosa con 103 (51.5% y el 56.6% de la muestra válida). El grupo de mujeres con actividad física moderada supone un total de 44 (22%, 24.2% de la muestra válida). Las mujeres sedentarias (n=35, 17.5% y el 19.2% de la muestra válida). En el grupo de mujeres se registran 18 casos faltantes (9%). No existen diferencias estadísticamente significativas entre los sexos (p=0.172).

IV. 5. Estado nutricional y composición corporal

La tabla 4 muestra la clasificación de los participantes conforme al IMC.

Tabla 4. Clasificación de los/las participantes conforme al IMC.

Estado nutricional	Frecuencia	Porcentaje
Bajo peso	5	2.4
Normal	80	38.1
Obesidad grado 1	33	15.7
Obesidad grado 2	11	5.2
Obesidad grado 3	2	1
Sobrepeso	78	37.1
Perdidos	1	0.5
Total	210	100

El estado nutricional se valoró categorizando a los participantes en el estudio en seis niveles distintos: bajo peso, normal, sobrepeso, y obesidad grados 1, 2 y 3. El grupo más numeroso corresponde a individuos con un peso categorizado como normal (frecuencia de 80 (38.1%)). En el grupo sobre peso se incluyen un total de 78 participantes (37.1%). Respecto de la presencia de obesidad, se observan 33 individuos categorizados como obesidad grado 1, 11 como obesidad grado 2 y 2 como

obesidad grado 3 (respectivamente el 15.7%, el 5.2% y el 1%). Se detectó la presencia de bajo peso en 5 individuos (2.4%).

El análisis por sexo de los/las participantes se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de los/las participantes conforme al IMC y el sexo

Sexo	Estado nutricional	Frecuencia	Porcentaje
Hombre	Bajo peso	0	0
	Normal	6	60
	Obesidad grado 1	0	0
	Obesidad grado 2	0	0
	Obesidad grado 3	1	10
	Sobrepeso	2	20
	Perdidos	1	10
	Total	10	100
Mujer	Bajo peso	5	2.5
	Normal	74	37
	Obesidad grado 1	33	16.5
	Obesidad grado 2	11	5.5
	Obesidad grado 3	1	0.5
	Sobrepeso	76	38
	Perdidos	0	0
	Total	200	100

El análisis del subgrupo de hombres indica una tendencia hacia un estado nutricional normal (n=6, 66.7%) aunque con una presencia notable de sobrepeso (n=2, 22.2%). Un sujeto se encuadró en la categoría de obesidad grado 3 (11.1% de la muestra válida). En el grupo de mujeres predomina la categoría sobrepeso (n=76 mujeres, 38%), seguido por aquellas categorizadas como normal (n=74, 37%). Se observó la presencia de obesidad grado 1 en 33 mujeres (16.5%), y respectivamente obesidad

grado 2 y grado 3 en el 5.5% y el 0.5% de la muestra. Se observó la presencia de bajo peso en 5 mujeres (2.5%).

Dado que un peso corporal bajo o un IMC bajo se han asociado con una baja masa ósea se valoró la presencia de peso inferior a 57kg y de IMC inferior a 19 en la muestra de estudio. Ninguno de los hombres presentó un peso inferior a 57 kg. De la muestra de mujeres 152 superan el umbral de peso de 57 kg (76%) mientras que 48 mujeres (24%) se encuentra por debajo. En el caso de los hombres, ninguno presenta un IMC menor de 19. En el grupo de mujeres, de un total de 200 individuos, solo 5 mujeres (2.5%), tienen un IMC menor de 19.

IV. 5. 1. Composición corporal

La composición corporal de la muestra, así como el metabolismo basal de la misma segregada por sexo se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Composición corporal en la muestra de estudio (por sexos)

		n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
Grasa %	Hombre	9	1	23.90	7.9	7.3	37.9	<0.001
	Mujer	196	4	36.25	8.82	15.8	52.8	
Grasa (kg)	Hombre	9	1	15.50	9.8	5	51	0.030
	Mujer	196	4	23.30	11.2	7.6	64.3	
Masa magra (kg)	Hombre	9	1	59.00	10.6	48.9	83.5	<0.001
	Mujer	196	4	40.55	5.625	32	57.6	
M.B. (kcal/día)	Hombre	9	1	1720.00	292	1431	2576	<0.001
	Mujer	196	4	1233.50	158.5	1013	1835	
Agua (kg)	Hombre	9	1	43.20	7.7	35.8	61.1	<0.001
	Mujer	194	6	29.70	4.1	19	42.1	

Se analizó el porcentaje y kilogramos de grasa corporal, kilogramos de masa magra, kilocalorías/día del metabolismo basal y kilogramos de agua. Entre los hombres se recopilaron datos válidos para 9 individuos. La mediana para el porcentaje de grasa corporal fue de 23.9%(RIQ=7.9%). Se observa una variación notable con un mínimo de 7.3% y un máximo de 37.9%. En términos de kilogramos, la mediana es de 5.5 kg (RIQ=9.8 kg).

Entre la muestra de mujeres, con 196 datos válidos recopilados, se exhibe una mediana del porcentaje de grasa corporal de 36.25% (RIQ=8.825%). La cantidad de grasa corporal en kilogramos para las mujeres muestra una mediana de 23.3 kg (RIQ =11.2 kg), suponiendo una distribución más amplia en comparación con los hombres.

Respecto de la masa magra de los/las participantes, los hombres reportan una mediana de 59 kg (RIQ=10.6 kg), mientras que en las mujeres la mediana es de 40.55 kg (RIQ=5.625 kg).

El metabolismo basal, medido en kilocalorías/día, muestra una mediana de 1720 kcal/día (RIQ de 292 kcal/día) para los hombres, y una mediana de 1233.5 kcal/día (RIQ =158.5 kcal/día) para las mujeres.

Finalmente, la cantidad de agua, medida en kilogramos, presenta una mediana de 43.2 kg (RIQ=7.7 kg) para los hombres, y una mediana de 29.7 kg (RIQ=4.1 kg) para las mujeres.

En cuanto a la composición corporal por segmentos corporales los resultados se muestran en la tabla 7 de forma segregada por el sexo de los/las participantes (brazo derecho (BD), brazo izquierdo (BI), pierna derecha (PD) y pierna izquierda (PI)). Observando inicialmente las extremidades superiores, en los hombres, el porcentaje de grasa en el BD tiene una mediana de 19.3% (RIQ=6.3%), mientras que, en el BI, la mediana es ligeramente superior, siendo 20.4%(RIQ=5.9%), pero básicamente similar entre ambos brazos. De la misma manera en mujeres, el brazo derecho muestra una mediana de grasa del 36.3% (RIQ=10.925%), y el BI una mediana del 36.8% (RIQ=11.325%), se muestra una distribución equitativa de grasa entre ambos brazos, aunque con un porcentaje más elevado de grasa en comparación con los hombres ($p<0.01$). Respecto de la masa magra segmentada, los hombres muestran una mediana de 3.4 kg en el BD (RIQ=0.7%) y 3.2 kg en el BI (RIQ=0.9%), suponiendo una distribución bastante homogénea. El resultado es

semejante en el grupo de mujeres con una mediana de 2 kg (RIQ=0.3%) y 2.1 kg (RIQ=0.3%) respectivamente en el BD y BI.

Tabla 7. Composición corporal por segmentos corporales y sexo de los/las participantes

		n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max
PD Grasa (%)	Hombre	9	1	22	9	6.7	36.6
	Mujer	194	6	40.95	7.275	19.2	55.7
PD Grasa (kg)	Hombre	9	1	2.3	1.4	0.8	8.5
	Mujer	194	6	4.7	1.875	1.7	13
PD Magra (kg)	Hombre	9	1	10.2	1.4	8.1	14.7
	Mujer	194	6	6.8	0.975	5.2	10.3
PI Grasa (%)	Hombre	9	1	20.2	10.5	8.3	36.7
	Mujer	196	4	40.7	6.7	17.5	55.3
PI Grasa (kg)	Hombre	9	1	2.1	1.5	1	8.6
	Mujer	196	4	4.7	1.75	1.5	13
PI Magra (kg)	Hombre	9	1	9.9	1.3	8.2	14.9
	Mujer	196	4	6.7	1	5.1	10.5
BD Grasa (%)	Hombre	9	1	19.3	6.3	11.9	31.4
	Mujer	196	4	36.3	10.925	15.7	81.7
BD Grasa (kg)	Hombre	9	1	0.7	0.4	0.5	2.5
	Mujer	196	4	1.2	0.625	0.4	11
BD Magra (kg)	Hombre	9	1	3.4	0.7	2.7	5.6
	Mujer	196	4	2	0.3	1.5	8.6
BI Grasa (%)	Hombre	9	1	20.4	5.9	11.4	36
	Mujer	196	4	36.8	11.325	16.3	62.3
BI Grasa (kg)	Hombre	9	1	0.7	0.6	0.5	3
	Mujer	196	4	1.2	0.7	0.4	5.20
BI Magra (kg)	Hombre	9	1	3.2	0.9	2.6	5.4
	Mujer	196	4	2.1	0.3	1.5	3.2

PD (pierna derecha), PI (pierna izquierda), BD (brazo derecho), BI (brazo izquierdo). Todas las comparaciones entre grupos $p < 0.05$

En las extremidades inferiores, el grupo de hombres presenta una mediana de porcentaje de grasa del 22% en PD (RIQ=9%) y del 20.2% en la PI (RIQ=10.5%). El grupo de mujeres reporta una mediana del 40.95% (RIQ=7.275%) y del 40.7% (RIQ=6.7%) respectivamente en PD y PI. En cuanto a la masa magra, en los hombres se observa una mediana es de 10.2 kg en la PD (RIQ=1.4%) y de 9.9 kg en la PI (RIQ=1.3%). Estos resultados indicarían una distribución equilibrada al igual que en el caso de las mujeres con una mediana de masa magra de 6.8 kg (RIQ=0.975%) y 6.7 kg (RIQ=1%) en la PD y PI respectivamente.

IV. 6. Determinaciones densitométricas

El estudio presente utilizó varias técnicas avanzadas para evaluar la salud ósea en los/las participantes.

Tabla 8. Características densitométricas de los/las participantes en el estudio (por sexos)

		n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
<i>Ultrasonido cuantitativo de talón</i>								
UBV (m/s)	Hombre	10	0	2118.5	153	1956	2240	0.044
	Mujer	199	1	2035	142	1717	2188	
UBPI (s)	Hombre	8	2	0.785	0.115	0.420	0.890	0.022
	Mujer	190	10	0.560	0.298	0.180	1.050	
BTT (s)	Hombre	8	2	1.825	0.445	1.220	2.220	0.003
	Mujer	190	10	1.36	0.320	0.300	1.980	
<i>Absorciometría de rayos X de energía dual</i>								
DMO Cuello femoral (g/cm²)	Hombre	10	0	0.845	0.071	0.739	0.990	0.005
	Mujer	200	0	0.775	0.151	0.477	1.066	
DMO Trocánter femoral (g/cm²)	Hombre	10	0	0.770	0.101	0.665	0.878	<0.001
	Mujer	200	0	0.620	0.120	0.363	0.927	
L2 DMO (g/cm²)	Hombre	10	0	1.051	0.174	0.778	1.296	0.019
	Mujer	200	0	0.886	0.231	0.574	1.390	
L3 DMO (g/cm²)	Hombre	10	0	1.031	0.205	0.757	1.245	0.044
	Mujer	200	0	0.913	0.241	0.603	1.794	
L4 DMO (g/cm²)	Hombre	10	0	1.038	0.171	0.836	1.227	0.009
	Mujer	200	0	0.899	0.232	0.594	9.950	
L2-L4 DMO (g/cm²)	Hombre	10	0	1.029	0.174	0.792	1.255	0.016
	Mujer	200	0	0.903	0.229	0.615	1.454	
<i>Tomografía computarizada periférica cuantitativa</i>								
Densidad total (mg/cm³)	Hombre	9	1	393.6	30.1	268.7	414.9	N/A
	Mujer	144	56	312.55	80.4	227.4	516.1	
Densidad trabecular (mg/cm³)	Hombre	9	1	201.2	60.4	131.2	273.8	N/A
	Mujer	144	56	167.05	53.575	17	275.3	
Densidad cortical (mg/cm³)	Hombre	9	1	538.3	72.1	352.1	593.7	N/A
	Mujer	144	56	440.65	117.325	277.5	773.6	
Área total (mm²)	Hombre	9	1	386.7	35.5	330.7	584.8	N/A
	Mujer	144	56	291.35	66.075	145.5	531.2	
Área trabecular (mm²)	Hombre	9	1	162.9	21.9	146.9	262.8	N/A
	Mujer	144	56	130.9	30.3	11.4	238.8	
Área cortical (mm²)	Hombre	9	1	199.8	26.8	180.3	322	N/A
	Mujer	144	56	160.3	36.075	80.1	392.4	

Se incluyeron: ultrasonido cuantitativo del talón (QUS), tomografía computarizada periférica cuantitativa y absorciometría de rayos X de energía dual. El empleo de esta combinación de técnicas condujo a obtener una comprensión detallada y amplia sobre la salud ósea. Los resultados en función del sexo de los/las participantes se muestran en la tabla 8.

Mediante el ultrasonido cuantitativo del talón, se obtuvieron distintas métricas; en la Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), con una mediana de 2118.5 m/s (RIQ=153) en hombres y de 2035 m/s (RIQ=142) en mujeres ($p=0.044$); el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) que presentó mediana de 0.785 s (RIQ=0.115) y 0.560 s (RIQ=0.298) en hombres y mujeres ($p=0.022$), respectivamente, con un valor máximo de 1.050 s en mujeres; finalmente el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) con mediana de 1.825 s (RIQ=0.445) en hombres y de 1.36 s (RIQ=0.320) en el grupo de mujeres ($p=0.003$). La diferencia entre los grupos de estudio fue estadísticamente significativa en todos los casos entre hombres y mujeres.

Mediante absorciometría de rayos X de energía dual, se analizaron diversas regiones anatómicas. En el cuello femoral, los hombres mostraron una mediana de DMO de 0.845 g/cm² (RIQ=0.071), frente a las mujeres que exhibieron una mediana ligeramente menor de 0.775 g/cm² (RIQ=0.151). Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p=0.005$). Respecto del trocánter femoral, la mediana de DMO fue de 0.770 g/cm² (RIQ=0.101) para los hombres y 0.620 g/cm² (RIQ=0.120) para las mujeres ($p<0.001$). En la columna lumbar se evaluó la DMO en las vértebras L2, L3, y L4. Los hombres presentaron medianas de 1.051 g/cm² (RIQ=0.174), 1.031 g/cm² (RIQ=0.205) y 1.038 g/cm² (RIQ=0.171) respectivamente en dichas localizaciones anatómicas. En las mismas regiones las mujeres mostraron medianas menores y estadísticamente significativas: 0.886 g/cm² (RIQ=0.231) para L2 ($p=0.019$), 0.913 g/cm²

(RIQ=0.241) para L3 ($p=0.044$), y 0.899 g/cm^2 (RIQ=0.232) para L4 (0.009). Respecto de la columna lumbar (L2-L4), la mediana de DMO en el grupo de hombres fue de 1.029 g/cm^2 (RIQ=0.174) y en el de mujeres de 0.903 g/cm^2 (RIQ=0.229), siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p=0.016$)

Por último, la DMO en la mandíbula fue evaluada en una muestra más pequeña de individuos procedentes de la muestra global. Con una mediana de 0.887 g/cm^2 (RIQ=0.226) en hombres ($n=5$) y 0.956 g/cm^2 (RIQ=0.473) en mujeres ($n=104$). No se reportan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio en función del sexo ($p=0.856$).

Finamente, a través de la tomografía computarizada periférica cuantitativa, se obtuvieron múltiples métricas relacionadas con el volumen y morfometría ósea. Para la densidad total, las medianas fueron 393.6 mg/cm^3 (RIQ=30.1) y 312.55 mg/cm^3 (RIQ=80.4) en hombres y mujeres. La densidad cortical, mostró medianas de 538.3 mg/cm^3 (RIQ=72.1) y 440.65 mg/cm^3 (RIQ=117.325) en hombres y mujeres. El valor mínimo se observó en el grupo de mujeres con 277.5 mg/cm^3 . En este caso solo se obtuvieron determinaciones de pQCT de un hombre no realizándose por tanto comparaciones en función del sexo.

Tras realizar las evaluaciones mediante el uso del método DXA, se dividieron a los participantes tomando como base el diagnóstico de normalidad/osteopenia/osteoporosis. Se valoró el detalle de la localización anatómica del diagnóstico (columna lumbar o cadera) así como el diagnóstico integral. Los resultados de este análisis están presentados en detalle en la tabla 9. La categorización realizada permitió la valoración del del estado óseo dentro de la muestra, proporcionando así un entendimiento claro y preciso acerca de la cantidad de participantes con osteoporosis.

Tabla 9. Diagnóstico de osteoporosis a nivel de columna, cadera y diagnóstico global por DXA en el total de la muestra (por sexos)

Sexo	Diagnóstico COLUMNA	n	%
Hombre	Normal COLUMNA	9	90
	Osteopenia COLUMNA	1	10
	Osteoporosis COLUMNA	0	0
	Perdidos	0	0
	Total	10	100
Mujer	Normal COLUMNA	79	39.5
	Osteopenia COLUMNA	76	38
	Osteoporosis COLUMNA	45	22.5
	Perdidos	0	0
	Total	200	100

Sexo	Diagnóstico CADERA	n	%
Hombre	Normal CADERA	9	90
	Osteopenia CADERA	1	10
	Osteoporosis CADERA	0	0
	Perdidos	0	0
	Total	10	100
Mujer	Normal CADERA	117	58.5
	Osteopenia CADERA	75	37.5
	Osteoporosis CADERA	8	4
	Perdidos	0	0
	Total	200	100

Sexo	Diagnóstico GLOBAL	n	%
Hombre	NORMAL	8	80
	OSTEOPENIA	2	20
	OSTEOPOROSIS	0	0
	Perdidos	0	0
	Total	10	100
Mujer	NORMAL	68	34
	OSTEOPENIA	87	43.5
	OSTEOPOROSIS	45	22.5
	Perdidos	0	0
	Total	200	100

En primer lugar, al examinar la columna vertebral, se observa que la mayoría de los hombres (90%), presentaron una condición normal, mientras que el 10% restante mostró signos de osteopenia (n=1). No diagnosticaron casos de osteoporosis entre los hombres. En las mujeres se observa una distribución heterogénea con un 39.5% normal, 38% osteopenia y un 22.5% con diagnóstico de osteoporosis. En conjunto 121 mujeres presentaron baja masa ósea (definida como osteopenia+osteoporosis) a nivel de la columna lumbar.

En cuanto al estudio de la cadera, se confirmó que había una menor presencia de casos de baja densidad ósea entre los hombres. Mientras que el 90% se mantuvo dentro del rango normal la evidencia de osteopenia solo se presentó en el restante 10 %. No se observó ningún caso de osteoporosis a nivel de la cadera. En las mujeres, el 58.5% presentó condición normal, el 37.5% osteopenia y 4% (n=8) presentó osteoporosis a nivel de la cadera. En 83 mujeres se identificó la presencia de baja masa ósea a nivel de la cadera.

Respecto del diagnóstico global de normalidad/osteopenia/osteoporosis el 80% de los hombres reportaron condición ósea normal y un 20%. No se detectaron casos de osteoporosis. Las mujeres presentaron un 34% de condición normal (n=68), 43.5% osteopenia (n=43.5) y 22.5% (n=45) osteoporosis. En total 132 mujeres presentaron baja masa ósea global (66%).

Respecto del consumo de suplementos de calcio, la mayoría de los participantes (n=187, 84.8%) no consumen suplementos de calcio. La mayoría de la muestra por tanto solo obtiene el calcio necesaria través de la dieta. Se observan un total de 3 casos faltantes (1.4%).

La forma adecuada de absorber el calcio en nuestro organismo depende significativamente del consumo natural y también mediante suplementos alimenticios de vitamina D. Por lo tanto, es importante tener presente que la ingesta puede tener un impacto directo sobre cómo se analizan e interpretan los resultados arrojados por pruebas relacionadas con la DMO. En nuestro estudio la gran mayoría de participantes (88.9%, n=184) no consumen suplementos de vitamina D, obteniendo la misma a partir de la exposición solar y/o su dieta regular (1.4% de datos faltantes, n=3).

Por sexo de los/las participantes, en el grupo de hombres, el 90% de los participantes no consumen suplementos de calcio, y solo el 10% sí lo hacen. Circunstancias similares se observan en el grupo de mujeres donde el 85.8% (n=169) de las participantes no consumen suplementos de calcio, mientras que el 14.2% (n=28) sí lo hacen (3 valores perdidos, 1.5%).

El 90% de los participantes masculinos no consumen suplementos de vitamina D, mientras que solo el 10% sí lo hace y el 88.8% de las participantes no consumen suplementos de vitamina D, mientras que el 11.2% sí lo hace. En ambos grupos, la mayoría de los/las participantes

obtienen la vitamina D a través de la exposición solar y/o su dieta regular. Solo un pequeño porcentaje toma medidas adicionales para suplementar su ingesta (datos faltantes n=3, 1.5% en el grupo de mujeres).

En la tabla 10 se muestra una visión general de la distribución de los T-scores y Z-scores en la población de mujeres estudiada.

Tabla 10. T-scores y Z-scores en la muestra de estudio (mujeres)

	n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max
T-score cadera	200	0	-0.660	1.465	-3.340	2.080
T-score cuello	200	0	-1.400	2.142	-4.160	3.410
Z-score cadera	198	2	0.470	1.395	-2.560	3.580
Z-score cuello	197	3	0.060	1.640	-2.420	4.280

En las determinaciones de T-score en la cadera, se observa una mediana de -0.66 (RIQ=1.465), sugiriendo una variabilidad moderada en los valores, oscilando estos entre -3.34 hasta 2.08. En el caso del T-score de columna, se reporta una mediana de -1.4 (RIQ=2.142), sugiriendo en este caso una mayor variabilidad en los datos en comparación con el T-score de cadera.

En cuanto a los Z-scores, para el de cadera la mediana fue de 0.47 (RIQ=1.395), indicando nuevamente una variabilidad moderada en los datos. En columna, el Z-score presenta una mediana de 0.06 (RIQ=1.64), lo sugiriendo una variabilidad similar al del Z-score de cadera.

Tabla 11. T-scores y Z-scores en la muestra de estudio (hombres)

	n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max
T-score cadera	10	0	-0.665	0.575	-1.52	0.51
T-score columna	10	0	-0.085	1.455	-2.07	1.81
Z-score cadera	9	1	-0.07	0.74	-0.82	1.49
Z-score columna	9	1	0.21	1.58	-1.89	1.72

En el grupo de hombres, para el T-score de cadera la mediana es de -0.665 (RIQ=0.575) con valores mínimos y máximos de -1.52 a 0.51. El T-

score de columna presenta una mediana de -0.085 (RIQ=1.455) que indica una mayor variabilidad en este parámetro frente a la cadera.

En cuanto a los Z-scores, en cadera faltan datos de uno de los participantes. La mediana de los Z-scores de cadera válidos es de -0.07(RIQ=0.740) sugiriendo una variabilidad moderada. En la columna se cuenta igualmente con 9 observaciones válidas y un dato faltante, mostrando mediana del Z-score de 0.210 (RIQ=1.580)

En la Tabla 12 se presentan parámetros antropométricos en función del diagnóstico de osteoporosis. Los datos incluyen la edad (años), el peso (kg), el índice de masa corporal y el índice cintura/cadera de las participantes, divididos en tres grupos según el diagnóstico de osteoporosis, osteopenia o normalidad conforme a los criterios de la OMS para el T-score.

Tabla 12. Parámetros antropométricos en función del diagnóstico de osteoporosis (mujeres)

		n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
Edad (años)	NORMAL	68	0	55	8.25	20	78	0.001
	OSTEOPENIA	87	0	60	10	20	77	
	OSTEOPOROSIS	45	0	62	6	50	82	
Peso (kg)	NORMAL	68	0	65.2	14.25	46.5	121.8	0.088
	OSTEOPENIA	87	0	65.7	16.5	46.3	86.5	
	OSTEOPOROSIS	45	0	61.1	18.2	47	87.6	
IMC (kg/m ²)	NORMAL	68	0	26.55	4.75	17.8	48.2	0.659
	OSTEOPENIA	87	0	26.4	6.62	17.6	35.6	
	OSTEOPOROSIS	45	0	25.6	5.6	18.6	35.9	
Índice cintura/cadera	NORMAL	68	0	0.813	0.094	0.618	0.974	0.757
	OSTEOPENIA	82	5	0.817	0.092	0.624	1	
	OSTEOPOROSIS	45	0	0.833	0.096	0.691	0.932	

Para la edad se observa que, en el grupo de mujeres con osteoporosis, la mediana de edad es de 62 años (RIQ=6 años) con un rango entre 50 hasta 82 años. Existe diferencias estadísticamente significativas en la edad entre los tres grupos de estudio (p=<0.001). No se reportan diferencias en la edad entre el grupo de mujeres con osteopenia (mediana=60, RIQ=10) y el de mujeres con osteoporosis (mediana=62,

RIQ=6) $p=0.517$. Si hay diferencias significativas en la edad entre las mujeres normales y con osteopenia ($p=0.002$) y normales frente a osteoporosis ($p<0.001$) (tabla 12).

Respecto del peso de las participantes con osteoporosis la mediana es de 61.1 kg (RIQ de 18.2 kg) no observándose diferencias estadísticamente significativas en el peso entre los diferentes grupos ($p=0.088$). Respecto del IMC en el grupo de mujeres osteoporóticas la mediana es de 25.6 kg/m² (RIQ de 5.6 kg/m²) y tampoco se observan estadísticamente significativas ($p=0.659$) entre los subgrupos de estudio.

Finalmente, respecto del índice cintura/cadera, en el grupo de osteoporosis, la mediana es de 0.833 (RIQ=0.096). No existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio ($p=0.757$) (tabla 12).

Respecto del grupo de hombres los resultados antropométricos en función del diagnóstico de osteoporosis conforme a los criterios de la OMS se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Parámetros antropométricos en función del diagnóstico de osteoporosis (hombres)

		n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
Edad (años)	NORMAL	8	0	44.5	13	20	58	0.603
	OSTEOPENIA	2	0	46	8	38	54	
Peso (kg)	NORMAL	7	1	73.2	11.1	61.6	134.5	1
	OSTEOPENIA	2	0	76.5	11.7	64.8	88.2	
IMC (kg/m ²)	NORMAL	7	1	22.6	4.8	22	42.9	0.667
	OSTEOPENIA	2	0	26	2.8	23.2	28.8	
Índice cintura/cadera	NORMAL	8	0	0.867	0.065	0.792	0.971	0.150
	OSTEOPENIA	2	0	0.945	0.044	0.901	0.989	

Respecto de la edad en el grupo de hombres con osteopenia, la mediana de edad es de 46 años (RIQ= 8 años) y en el grupo "normal" 44.5 años (RIQ=13 años) no habiendo diferencias estadísticamente significativas entre las edades de ambos grupos. En cuanto peso de los participantes, en el grupo osteopenia, la mediana es de 76.5 kg (RIQ de

11.7 kg) y en el grupo normal esta es de 73.2 kg (RIQ de 11.1 kg) ($p=1$) no habiendo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio. Respecto del IMC en el grupo de hombres con osteopenia la mediana fue de 26 kg/m² (RIQ de 2.8 kg/m²) y en el grupo normal de 22.6 kg/m² (RIQ=4.8 kg/m²) igualmente sin la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p=0.667$). Finalmente, para el índice cintura/cadera en el grupo de hombres con osteopenia la mediana fue de 0.945 (RIQ de 0.044) frente al grupo normal fue que presentó una de 0.867 (RIQ=0.065) ($p=0.15$) (tabla 13).

IV. 6. 1. Determinaciones densitométricas mandibulares y sexo y diagnóstico de osteopenia/osteoporosis

La densidad mineral ósea de la mandíbula de los/las participantes en el estudio fue determinada mediante DXA. Los resultados referentes a la distribución por sexo se muestran en la tabla 14.

Tabla 14 DMO en la mandíbula en función del género

		n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
DMO mandíbula (g/cm²)	Hombre	5	0	0.887	0.226	0.840	1.271	0.856
	Mujer	104	0	0.956	0.473	0.492	2.934	

En el grupo masculino, se obtuvieron datos de 5 individuos. La mediana de la DMO en la mandíbula en este grupo fue de 0.887 g/cm² (RIQ=0.226) variando entre 0.840 y 1.271 g/cm².

Entre las mujeres se obtuvieron datos de un total de 104 participantes. La mediana de la DMO fue de 0.956 g/cm² (RIQ=0.473) con un mínimo de 0.492 y un máximo de 2.934 g/cm².

La diferencia en la DMO de la mandíbula entre los grupos en función del género no fue estadísticamente significativa ($p=0.856$).

El análisis de la DMO en la mandíbula en el total de la muestra en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis/normalidad según los criterios de la OMS no reportó diferencias estadísticamente significativas ($p=0.051$) (tabla 15).

Tabla 15. DMO en la mandíbula en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis

		N	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
DMO mandíbula (g/cm²)	NORMAL	47	1.050	0.441	0.683	2.934	0.051
	OSTEOPENIA	39	0.864	0.372	0.492	1.993	
	OSTEOPOROSIS	23	0.950	0.643	0.527	1.534	

En el grupo categorizado como normal, se cuenta con una muestra de 47 individuos. La mediana de la DMO en la mandíbula para este grupo es de 1.050 g/cm² (RIQ=0.441). En lo que respecta al grupo con osteopenia, se muestra una muestra de 39 individuos con una mediana de la DMO de 0.864 g/cm² (RIQ=0.372). Por último, en el grupo con diagnóstico de Osteoporosis, se incluyen 23 participantes. En este grupo, la mediana de la DMO en la mandíbula es de 0.950 g/cm² (RIQ=0.643). Los valores de la DMO en este grupo oscilan entre un mínimo de 0.527 y un máximo de 1.534 g/cm².

En el grupo de mujeres en estudio tampoco se observaron diferencias en la DMO en la mandíbula en función del diagnóstico de normalidad/osteopenia/osteoporosis (tabla 16) ($p=0.066$).

Tabla 16. DMO en la mandíbula en el grupo de mujeres según el diagnóstico de osteopenia/osteoporosis

		n	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
DMO mandíbula (g/cm²)	NORMAL	43	1.050	0.464	0.683	2.934	0.066
	OSTEOPENIA	38	0.872	0.379	0.492	1.993	
	OSTEOPOROSIS	23	0.950	0.643	0.527	1.534	

El grupo normal presenta 43 participantes con una mediana de DMO de 1.050 g/cm² y un RIQ de 0.464 g/cm². El grupo osteopenia consta

de 38 participantes, con una mediana de DMO de 0.872 g/cm² y un RIQ de 0.379 g/cm². Finalmente, el grupo osteoporosis incluye 23 participantes y muestra una mediana de DMO de 0.950 g/cm² con un RIQ de 0.643 g/cm².

Respecto del grupo de hombres los resultados se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. DMO en la mandíbula en el grupo de hombres según el diagnóstico de osteopenia/osteoporosis

		n	Mediana	RIQ	Min	Max
DMO mandíbula (g/cm ²)	NORMAL	4	0.992	0.257	0.871	1.271
	OSTEOPENIA	1	0.840	0	0.840	0.840

En el grupo normal, hay 4 hombres con una mediana de DMO en la mandíbula de 0.992 g/cm² y un RIQ de 0.257 g/cm². Los valores en este grupo van desde un mínimo de 0.871 hasta un máximo de 1.271 g/cm². El grupo de osteopenia consiste en un único participante, lo que limita la capacidad para hacer inferencias estadísticas. La mediana reportada por el único sujeto es de 0.840 g/cm². Dada la limitada cantidad de información disponible, especialmente en relación a los varones que padecen osteopenia, es imprescindible ejercer prudencia al realizar cualquier interpretación basada en estos hallazgos.

IV. 7. Parámetros morfométricos mandibulares: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y la Clasificación de Klemetti. Estudio de su relación con parámetros densitométricos determinados mediante DXA, QUS y pQCT.

Estos índices son ampliamente reconocidos por su importancia en la evaluación de la salud ósea mandibular y su posible relación con condiciones como la osteoporosis. El MCW proporciona una medida directa del grosor cortical de la mandíbula, mientras que el PMI ofrece una valoración más general de la densidad ósea mandibular. Por su parte, la Clasificación de Klemetti brinda una escala de evaluación radiográfica para determinar el grado de erosión cortical.

Tabla 18. Parámetros morfométricos mandibulares en el total de la muestra: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y ausencias dentales

	n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max
MCW (mm) (derecha)	179	31	5	1.180	2.200	7.980
PMI (derecha)	179	31	0.350	0.107	0.165	0.638
Ausencias dentales (derecha)	177	33	1	3	0	14
MCW (mm) (izquierda)	179	31	5	1.195	2.500	7.940
PMI (izquierda)	179	31	0.350	0.090	0.190	0.680
Ausencias dentales (izquierda)	177	33	2	3	0	14

Para el MCW en el lado derecho (tabla 18), se contó con una muestra de 179 individuos, con 31 datos perdidos. La mediana se estableció en 5 mm, con un RIQ de 1.180 mm. Los valores de MCW oscilan entre un mínimo de 2.200 mm y un máximo de 7.980 mm. De manera similar, en el lado izquierdo, la muestra también consiste en 179 individuos con una mediana de 5 mm y RIQ de 1.195 mm. Los valores varían entre 2.500 mm y 7.940 mm. Se observan diferencias

estadísticamente significativas entre el lado izquierdo y el lado derecho ($p=0.018$)

En relación al PMI, en el lado derecho, se registraron los mismos 179 individuos. La mediana del PMI fue de 0.350, con un RIQ de 0.107. Los valores abarcan desde un mínimo de 0.165 hasta un máximo de 0.638. En el lado izquierdo de la mandíbula la mediana fue de 0.350 con RIQ de 0.090. El rango de valores observados se encontró entre 0.190 y 0.680. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el PMI entre el lado izquierdo y el lado derecho ($p=0.452$)

Finalmente, para las ausencias dentales, se obtuvieron datos de un total de 177 individuos. En el lado derecho, la mediana de ausencias dentales es de 1 con un RIQ de 3 (0-14). En el lado izquierdo, la mediana fue de 2 con un RIQ de 3 (0-14). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el número de ausencias dentales entre el lado derecho y el lado izquierdo ($p=0.898$).

Los resultados obtenidos para el grupo de mujeres en el MCW, el PMI y el número de ausencias dentales se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Parámetros morfométricos mandibulares en el grupo de mujeres: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y ausencias dentales

	n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max
MCW (mm) (derecha)	173	27	5	1.200	2.200	7.980
PMI (derecha)	173	27	0.350	0.105	0.165	0.638
Ausencias dentales (derecha)	171	29	2	3	0	14
MCW (mm) (izquierda)	173	27	5	1.200	2.500	7.940
PMI (izquierda)	173	27	0.350	0.100	0.190	0.680
Ausencias dentales (izquierda)	171	29	2	3	0	14

En lo que respecta al MCW el lado derecho de la mandíbula se observó una mediana de 5 mm y un RIQ de 1.2 mm. Los valores oscilan entre un mínimo de 2.2 mm y un máximo de 7.98 mm. En el lado izquierdo de la mandíbula se observó también una mediana 5 mm y un RIQ idéntico de 1.2 mm (2.5 mm hasta 7.940 mm). Los resultados indican la existencia

de diferencias estadísticamente significativas entre el lado izquierdo y derecho ($p=0.020$).

Con respecto al PMI en el lado derecho la mediana fue de 0.350 con un RIQ de 0.105 (0.165-0.638). En el lado izquierdo de la mandíbula la mediana se mantiene en 0.350 con un RIQ de 0.1 (0.19-0.68). No se observan diferencias estadísticamente significativas entre el lado izquierdo y el lado derecho ($p=0.797$)

Finalmente, para el parámetro de ausencias dentales en el lado derecho la mediana es de 2 ausencias, y el RIQ es de 3 (0-14). En el lado izquierdo de la mandíbula se observó la misma mediana y RIQ además de un rango idéntico (0-14). Los resultados indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el lado derecho y el lado izquierdo ($p=0.689$).

Los resultados correspondientes a la valoración del MCW, PMI y ausencias dentales en el grupo de hombres se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Parámetros morfométricos mandibulares en el grupo de hombres: Mandibular Cortical Width (MCW), el Panoramic Mandibular Index (PMI) y ausencias dentales

	n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max
MCW (mm) (derecha)	6	4	5.100	1.635	3.960	7.300
PMI (derecha)	6	4	0.304	0.092	0.260	0.375
Ausencias dentales (derecha)	6	4	1	0.750	0	2
MCW (izquierda)	6	4	5.260	1.245	4.310	6.400
PMI (izquierda)	6	4	0.335	0.070	0.260	0.380
Ausencias dentales (izquierda)	6	4	1	2.250	0	3

Para el MCW para el lado derecho se observó una mediana de 5.1 mm con un RIQ de 1.635 mm (3.96 mm-7.3 mm). En el lado izquierdo (L), la mediana aumentó ligeramente a 5.26 mm, con un RIQ de 1.245 mm (4.31- mm a 6.4 mm). No se observan diferencias estadísticamente significativas ($p=0.763$)

En relación al PMI, para el lado derecho se determinó una mediana de 0.304 con un RIQ de 0.092 (0.26-0.375). En el lado izquierdo la

mediana fue de 0.335, y el RIQ es de 0.07 (0.26-0.38). No se observan diferencias estadísticamente significativas ($p=0.792$)

Por último, en lo que concierne a las ausencias dentales en el lado derecho fueron de 1 de mediana con un RIQ de 0.75 (0-2). En el lado izquierdo la mediana se mantuvo en 1 con un RIQ de 2.25 (0-3). No se observan diferencias estadísticamente significativas ($p=0.296$).

IV. 7. 1. Clasificación de Klemetti

La Clasificación de Klemetti es un sistema utilizado para evaluar la calidad ósea mandibular mediante radiografías panorámicas. La clasificación se basa en el examen de la cortical mandibular, específicamente en la apariencia y la morfología del borde inferior de la mandíbula. Este sistema categoriza la calidad ósea en diferentes grados (C1, C2 y C3), desde una cortical normal hasta distintos niveles de erosión y porosidad. Dicha clasificación es ampliamente utilizada tanto en investigaciones clínicas como académicas.

De las personas evaluadas 87 fueron identificadas como poseedoras de una salud ósea considerada normal o aceptable y asignadas a la categoría C1. Del total de la muestra, un 41.4% lo conforma este grupo. Se detectó que un grupo de participantes, específicamente el correspondiente al nivel C2 con un total de 81 individuos (equivalente al 38.6%), presentaba características como reducción en la calidad ósea pero no implicaría automáticamente la existencia de alteraciones patológicas. Los 11 individuos (5.2%) en el grupo C3 corresponderían con los participantes clasificados en una situación más grave con respecto a la salud ósea mandibular del lado derecho.

Un grupo de 64 individuos se incluyó en la categoría C1 del lado izquierdo, lo que implica una calidad ósea mandibular apropiada o normal. Representando cerca del 30.5% del número total examinado, esta

cifra implica potenciales variaciones laterales relacionadas con la salud ósea entre los individuos presentes en este grupo específico al comprobarse que era más baja que la registrada en la parte derecha. Con respecto a la categoría C2, hay un registro de 83 personas que se distinguen por tener una calidad ósea reducida, aunque esto no siempre sea debido a alguna enfermedad (39.5%). La calidad ósea muestra una disminución moderada, afectando a un número significativo de personas. El número de pacientes en la categoría C3 asciende a 32. Existe una correlación entre esta categoría y la presencia de huesos particularmente frágiles, lo cual incrementa el riesgo de sufrir fracturas u enfrentar dificultades relacionadas a los implantes dentales. El valor numérico del lado izquierdo, mucho mayor que en la parte derecha representan un porcentaje de 15.2% sobre los datos recolectados. Podemos inferir que hay una mayor cantidad de personas con calidad ósea comprometida en el lado izquierdo de la mandíbula.

En el grupo de mujeres y en el lado derecho, la categoría denominada "C1", cuenta con 84 observaciones. Esto representa el 42.0% de la muestra total y el 48.6% del total de observaciones válidas, excluyendo las observaciones faltantes (27 casos)). En la segunda categoría, "C2", se incluyen 78 observaciones. Esto equivale al 39.0% de la muestra total. Si se consideran solo las observaciones válidas, el porcentaje es del 45.1%. La tercera y última categoría válida, "C3", abarca 11 observaciones, lo que representa un 5.5% de la muestra total. En términos de observaciones válidas, la categoría "C3" constituye un 6.4%.

Respecto del lado izquierdo, y también en el grupo de mujeres, en la primera categoría, etiquetada como "C1", se encuentra que 61 observaciones. Estas 61 observaciones representan el 30.5% del total de la muestra. Si se excluyen los datos faltantes (n=27), el porcentaje válido para esta categoría es del 35.3%. La segunda categoría, "C2", incluye 80 observaciones, lo cual se traduce en un 40.0% de la muestra total. En

cuanto a porcentajes válidos, este número representa un 46.2%. El porcentaje acumulativo, considerando tanto "C1" como "C2", alcanza el 81.5%. La tercera categoría, "C3", está compuesta por 32 observaciones, que constituyen un 16.0% de la muestra total. Si se consideran solo las observaciones válidas, este número representa un 18.5%.

En el grupo de hombres y para el lado derecho, en la categoría "C1", se registraron 3 observaciones. Estas representan un 30.0% de la muestra total. Si se consideran únicamente las observaciones válidas, es decir, excluyendo los datos faltantes (n=4), el porcentaje válido de esta categoría es del 50.0%. La segunda categoría, denominada "C2", también contiene 3 observaciones, lo que representa otro 30.0% de la muestra total. En términos de porcentaje válido, esta categoría iguala a la "C1" con un 50.0%.

Respecto del lado izquierdo en el grupo de hombres, en la categoría, designada "C1", se observan 3 casos, constituyendo el 30.0% de la muestra total. En el contexto de observaciones válidas, este número representa el 50.0%. La segunda categoría, "C2", presenta igualmente 3 casos, lo que también conforma un 30.0% de la muestra total. Al igual que con la categoría "C1", el porcentaje válido para "C2" es del 50.0%.

IV. 7. 2. Parámetros morfológicos mandibulares en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis.

En la tabla 21 se muestran los parámetros morfológicos mandibulares en la totalidad de la muestra en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis conforme al criterio del T-score de la OMS.

Tabla 21. Parámetros morfológicos mandibulares en la totalidad de la muestra en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis conforme al criterio del T-score de la OMS

		n	Perd.	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
MCW (mm) (derecha)	NORMAL	59	17	4.860	1.250	3.100	7.770	0.348
	OSTEOPENIA	78	11	5.105	1.120	3.410	7.980	
	OSTEOPOROSIS	42	3	5	1.053	2.200	7.800	
MCW (mm) (izquierda)	NORMAL	59	17	5.060	1.145	3.200	7.940	0.447
	OSTEOPENIA	78	11	4.985	1.230	3.350	7.500	
	OSTEOPOROSIS	42	3	4.755	1.220	2.500	7.300	
PMI (derecha)	NORMAL	59	17	0.332	0.108	0.231	0.580	0.461
	OSTEOPENIA	78	11	0.355	0.088	0.165	0.586	
	OSTEOPOROSIS	42	3	0.349	0.114	0.179	0.638	
PMI (izquierda)	NORMAL	59	17	0.340	0.100	0.190	0.560	0.083
	OSTEOPENIA	78	11	0.370	0.080	0.220	0.590	
	OSTEOPOROSIS	42	3	0.340	0.115	0.200	0.680	
Ausencias dentales (derecha)	NORMAL	58	18	1	3	0	14	0.070
	OSTEOPENIA	77	12	2	4	0	14	
	OSTEOPOROSIS	42	3	3	3	0	14	
Ausencias dentales (izquierda)	NORMAL	58	18	1	3	0	14	0.130
	OSTEOPENIA	77	12	1	3	0	14	
	OSTEOPOROSIS	42	3	2	3	0	14	

El parámetro MCW fue evaluado respecto del diagnóstico de normalidad/osteopenia/osteoporosis, tanto en el lado derecho como en el izquierdo. En el grupo normal para el lado derecho de la mandíbula (n=59) se observó una mediana de 4.86 mm y un (RIQ) de 1.25 mm (3.1-7.77 mm). En el grupo con diagnóstico de osteopenia, se incluyeron 78 sujetos y se observó una mediana de 5.105 mm y un RIQ de 1.120 mm (3.41-7.980 mm). Para el grupo con diagnóstico de osteoporosis, que incluyó 42 sujetos, la mediana registrada fue de 5 mm con un RIQ de 1.053 mm (2.2-7.8 mm).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos de estudio (p=0.348). Para el MCW en el lado izquierdo de la mandíbula, se incluyeron 59 sujetos en el grupo "Normal" con una mediana de 5.06 mm y un RIQ de 1.145 mm (3.2-7.94 mm). En el grupo osteopenia (n=78) se registró una mediana de 4.985 mm con un RIQ de 1.23 mm (3.35-7.5 mm). Finalmente, en el grupo de osteoporosis (n=42),

la mediana reportada fue de 4.755 mm (RIQ=1.22 mm) (2.5-7.3 mm). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre osteopenia, osteoporosis y normalidad ($p=0.447$).

También se evaluó el PMI y la cantidad de ausencias dentales, tanto en el lado derecho como en el izquierdo de la mandíbula, en función del diagnóstico de normalidad/osteopenia/osteoporosis. Respecto del PMI en el lado derecho, ($n=59$) en el grupo normal se observó una mediana de 0.332 (RIQ=0.108) (0.231-0.58). En el grupo de osteopenia ($n=78$) se reportó una mediana de 0.355 (RIQ=0.088) (0.165-0.586). Finalmente, en el grupo osteoporosis ($n=42$), mediana de 0.349 y un RIQ=0.114. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el PMI ni en el lado derecho ($p=0.461$) ni en el izquierdo ($p=0.083$) (tabla 21).

Respecto de las ausencias dentales no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio en función del diagnóstico de normalidad/osteopenia/osteoporosis. En el lado derecho de la mandíbula, en el grupo normal, se registró una mediana de 1 ausencia dental con un RIQ=3. En el grupo de osteopenia, la mediana fue de 2 con un RIQ=4 y en el grupo diagnosticado como osteoporosis la mediana reportada fue de 3 con un RIQ=3.

Nuevamente no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio ($p=0.070$). Similarmente, para el lado izquierdo de la mandíbula, los valores también variaron en función del diagnóstico, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0.130$).

En el grupo de mujeres (tabla 22) se observan resultados similares al conjunto de la muestra.

Tabla 22. Parámetros morfológicos mandibulares en el grupo de mujeres en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis conforme al criterio del T-score de la OMS

		n	Perd.	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
MCW (mm) (derecha)	NORMAL	54	14	4.880	1.325	3.100	7.770	
	OSTEOPENIA	77	10	5.100	1.120	3.410	7.980	0.428
	OSTEOPOROSIS	42	3	5	1.053	2.200	7.800	
MCW (mm) (izquierda)	NORMAL	54	14	5.080	1.175	3.200	7.940	
	OSTEOPENIA	77	10	4.970	1.200	3.350	7.500	0.485
	OSTEOPOROSIS	42	3	4.755	1.220	2.500	7.300	
PMI (derecha)	NORMAL	54	14	0.334	0.104	0.231	0.580	
	OSTEOPENIA	77	10	0.356	0.090	0.165	0.586	0.608
	OSTEOPOROSIS	42	3	0.349	0.114	0.179	0.638	
PMI (izquierda)	NORMAL	54	14	0.340	0.105	0.190	0.560	
	OSTEOPENIA	77	10	0.370	0.080	0.220	0.590	0.106
	OSTEOPOROSIS	42	3	0.340	0.115	0.200	0.680	
Ausencias dentales (derecha)	NORMAL	53	15	1	3	0	14	
	OSTEOPENIA	76	11	2	4	0	14	0.100
	OSTEOPOROSIS	42	3	3	3	0	14	
Ausencias dentales (izquierda)	NORMAL	53	15	1	3	0	14	
	OSTEOPENIA	76	11	1	3.250	0	14	0.160
	OSTEOPOROSIS	42	3	2	3	0	14	

Para el parámetro MCW medido en las mujeres y en el lado derecho de la mandíbula, se incluyeron 54 mujeres con una mediana de 4.880 mm, RIQ=1.325 mm. En la categoría de osteopenia (n=77) la mediana fue de 5.1 mm RIQ=1.12 mm y para el grupo osteoporosis (n=42), la mediana fue de 5 mm RIQ=1.053 mm, nuevamente sin diferencias estadísticamente significativas entre grupos (p=0.428). Respecto del lado izquierdo y el MCW la situación fue similar. En el grupo normal (n=54) la mediana fue de 5.08 mm con un RIQ=1.175 mm. En el grupo de mujeres con osteopenia y en el lado izquierdo (n=77) la mediana fue de 4.97 mm RIQ=1.2 mm y en el grupo Osteoporosis (n=42) la mediana alcanzó 4.755 mm RIQ=1.22 mm, sin reportarse diferencias estadísticamente significativas entre grupos (p=0.485).

Con respecto al PMI, tanto en el lado derecho como en el izquierdo, se realizaron también comparativas entre tres grupos diagnósticos (normalidad/osteopenia/osteoporosis) En el lado derecho, el grupo normal, (n=54), exhibió una mediana de 0.334 RIQ=0.104. En la categoría

osteopenia (n=77), se observó una mediana de 0.356 RIQ 0.09. En el grupo diagnosticado con osteoporosis (n=42) se observó mediana de 0.349 RIQ=0.114. No se observaron diferencias estadísticamente significativas (p=0.608). Respecto del lado izquierdo, en el grupo normal (n=54), se registró una mediana de 0.34 RIQ=0.105, en el grupo de osteopenia (n=77) una mediana de 0.37 RIQ=0.08 y en el grupo osteoporosis, que incluyó a 42 mujeres, mostró una mediana de 0.340 RIQ=0.115, no reportándose diferencias estadísticamente significativas (p=0.106).

En lo concerniente a las ausencias dentales en la mandíbula, tanto en el lado derecho como en el izquierdo, se observaron diversas métricas para los grupos diagnósticos de Normalidad, Osteopenia y Osteoporosis. Se registraron medianas y RIQ específicos para cada grupo, extendiéndose los valores desde 0 hasta 14 en ambas orientaciones de la mandíbula. Los p-valores asociados fueron de 0.100 y 0.160 para el lado derecho e izquierdo, respectivamente, lo que indica que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de ausencias dentales entre los grupos de estudio (en función del diagnóstico de osteopenia/osteoporosis/normalidad de la OMS).

Finalmente, en el grupo de hombres, el grupo de normalidad presentó un MCW en el lado derecho con mediana de 4.8 RIQ=0.83 mm, mientras que, para el lado izquierdo, la mediana fue de 5.02 mm RIQ=1 mm. En este grupo de hombres el PMI en el lado derecho mostró una mediana de 0.286 RIQ=0.11, y en el lado izquierdo, una mediana de 0.34 con un RIQ de 0.09 para el PMI. Las ausencias dentales en el lado derecho e izquierdo tuvieron medianas de 1, con RIQ de 0 y 3, respectivamente. En el grupo de hombres con osteopenia los datos son limitados debido a una muestra de una única persona. En este grupo, el MCW en el lado derecho fue de 7.3 mm y en el lado izquierdo de 6.4 mm. El PMI en el lado derecho fue de 0.323 y en el lado izquierdo de 0.33. Las ausencias dentales fueron de 0 en el lado derecho y de 1 en el izquierdo.

IV. 7. 3. Clasificación de Klemetti en función del diagnóstico de osteoporosis/osteopenia/normalidad de la OMS.

Los participantes en el estudio fueron clasificados conforme a la clasificación de Klemetti y el diagnóstico de osteoporosis/osteopenia/normalidad conforme al criterio del T-score de la OMS. Los resultados se muestran en la tabla 23 (derecha) y 24 (izquierda).

Tabla 23. Clasificación de Klemetti (hemimandíbula derecha) en función del diagnóstico de osteoporosis/osteopenia/normalidad de la OMS.

	KLEMETTI (derecha)				Total
	C1	C2	C3		
NORMAL	n	39	19	1	59
	%	66.1 %	32.2 %	1.7 %	100.0 %
OSTEOPENIA	n	33	39	6	78
	%	42.3 %	50.0 %	7.7 %	100.0 %
OSTEOPOROSIS	n	15	23	4	42
	%	35.7 %	54.8 %	9.5 %	100.0 %
Total	n	87	81	11	179
	%	48.6 %	45.3 %	6.1 %	100.0 %

En el grupo diagnosticado como normal, se contabilizaron 39 casos en la categoría C1 (66.1%). Se registraron 19 casos en C2 (32.2%), y solo 1 caso en C3, (1.7%). En el grupo osteopenia, los 33 casos en la categoría C1 suponen el 42.3%. Los 39 casos en C2 representan 50.0%, mientras que los 6 casos en C3 hacen el 7.7%.

Finalmente, en el grupo osteoporosis, se observa una distribución con 15 casos en C1 (35.7%), 23 casos en C2 (54.8%) y 4 casos en C3 (9.5%). Se observa la existencia de asociación entre la categoría de Klemetti (derecha) y el diagnóstico de normalidad/osteopenia/osteoporosis ($p=0.016$).

Tabla 24. Clasificación de Klemetti (lado izquierdo) en función del diagnóstico de osteoporosis/osteopenia/normalidad de la OMS.

	KLEMETTI (Izquierda)				
		C1	C2	C3	Total
NORMAL	n	27	28	4	59
	%	45.8 %	47.5 %	6.8 %	100.0 %
OSTEOPENIA	n	30	34	14	78
	%	38.5 %	43.6 %	17.9 %	100.0 %
OSTEOPOROSIS	n	7	21	14	42
	%	16.7 %	50.0 %	33.3 %	100.0 %
Total	n	64	83	32	179
	%	35.8 %	46.4 %	17.9 %	100.0 %

Respecto del lado izquierdo (tabla 24), también se observa una asociación entre el diagnóstico de osteopenia/osteoporosis/normalidad y el índice de Klemetti ($p=0.003$). Para el grupo normal, de los 59 casos totales, 27 se distribuyen en la categoría C1 (45.8%), 28 en C2 (47.5%) y 4 en C3 (6.8%). Respecto del grupo osteopenia, 30 se encuentran en C1 (38.5%), 34 en C2 (43.6%) y 14 en C3 (17.9%) y en el grupo osteoporosis se observaron 7 en C1 (16.7%), 21 de C2 (50.0%) y 14 de C3 (33.3%).

Comparando la categoría C1 frente a la categoría C3 en el lado derecho el odds ratio asociado es de 10.400 (I.C. 95%; 1.0736 a 100.748; $p=0.043$), implicando, según esta clasificación que la probabilidad de osteoporosis es aproximadamente 10 veces mayor en aquellos clasificados en la categoría C3 en comparación con aquellos en la categoría C1. El amplio rango del I.C. al 95% sugiere una considerable variabilidad en la estimación del OR y sugiere cautela en la interpretación de estos resultados.

Los resultados son semejantes a los obtenidos en el lado izquierdo con un OR de 13.5 ($p=0.0002$), que sugiere un aumento de la probabilidad de desarrollar osteoporosis de 13.5 veces en los pacientes clasificados como C3. Nuevamente, un IC 95% de 3.3701 a 54.0793 es considerablemente amplio y debe ser analizado con precaución.

IV. 7. 4. Clasificación de Klemetti en función de parámetros biológicos y ausencias dentales.

La tabla 25 presenta datos descriptivos sobre múltiples variables en función de las tres categorías diferentes, C1, C2 y C3 del índice de Klemetti (derecha).

Tabla 25. Clasificación de Klemetti (derecha) en el grupo de mujeres, en función de parámetros antropométricos, biológicos y ausencias dentales.

		n	Perd.	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
Edad (años)	C1	84	0	57	7	20	74	
	C2	78	0	62	8.75	20	82	<0.001
	C3	11	0	64	14.5	46	79	
Años desde la menopausia (años)	C1	83	1	6	9	0	55	
	C2	77	1	10	9	0	40	0.011
	C3	11	0	14	19	0	40	
Edad Menarquia (años)	C1	84	0	12	2.25	9	15	
	C2	77	1	13	2	9	16	0.539
	C3	11	0	13	2	10	14	
Lactancia Acumulada (meses)	C1	83	1	4	7	0	60	
	C2	78	0	5	10	0	40	0.359
	C3	11	0	3	3.5	0	60	
Embarazos (n)	C1	84	0	2	2	0	6	
	C2	78	0	2	1	0	6	0.634
	C3	11	0	1	3.5	0	7	
Hijos (n)	C1	84	0	2	2	0	5	
	C2	78	0	2	1	0	5	0.660
	C3	11	0	1	3	0	6	
Ausencias dentales (derecha) (n)	C1	83	1	1	3	0	14	
	C2	77	1	2	2	0	14	0.259
	C3	11	0	2	4	0	6	
Ausencias dentales (izquierda) (n)	C1	83	1	1	3	0	14	
	C2	77	1	2	3	0	14	0.113
	C3	11	0	2	3	0	6	

Estas variables incluyen la edad en años, los años desde la menopausia, la edad de la menarquía, la lactancia acumulada en meses, el número de embarazos, el número de hijos y las ausencias dentales tanto en la mandíbula derecha como en la izquierda. En el caso de la edad se observó que la mediana se incrementaba de manera significativa desde C1

a C3. En C1, la mediana de la edad se encuentra en 57 años RIQ=7, en C2 mediana=62 años con RIQ=8.75 años y finalmente en C3, la mediana fue de 64 años con RIQ=14.5 años ($p=0.001$). Respecto de los años desde la menopausia se observó que la mediana era de 6 años para C1, 10 años para C2 y 14 años para C3, y que estas diferencias eran estadísticamente significativas ($p=0.011$). Para la edad de la menarquía, la mediana varió entre 12 y 13 años a través de las categorías, sin detectarse diferencias estadísticamente significativas ($p=0.539$). En cuanto a la lactancia acumulada, se reportaron medianas ligeramente distintas en las categorías (4, 5 y 3 meses para C1, C2 y C3 respectivamente), pero sin significación estadística ($p=0.359$). En lo referente al número de embarazos y de hijos, las medianas son generalmente similares entre las categorías. La mediana del número de embarazos y de hijos es de 2 para C1 y C2, mientras que para C3 es de 1, aunque sin significación estadística en ambos casos ($p=0.634$ y 0.660 respectivamente). Finalmente, respecto a las ausencias dentales, tanto en la mandíbula derecha como en la izquierda, las medianas y los RIQ varían ligeramente entre las categorías, pero nuevamente sin diferencias estadísticamente significativas ($p=0.259$ y 0.113 respectivamente).

Respecto del índice de Klemetti en el lado izquierdo los resultados se muestran en la tabla 26.

En la variable de la edad, se observa nuevamente que la mediana aumenta a medida que se pasa de la categoría C1 a la C3, siendo 57, 59 y 63 años respectivamente y siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p<0.001$). En relación con los años desde la menopausia, las medianas son de 5, 10 y 12 años para las categorías C1, C2 y C3 respectivamente, igualmente significativas desde el punto de vista estadístico ($p=0.001$).

Tabla 26. Clasificación de Klemetti (izquierda) en el grupo de mujeres, en función de parámetros antropométricos, biológicos y ausencias dentales.

	n	Perd.	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
Edad (años)	C1	61	0	57	8	20	71
	C2	80	0	59	8	20	76
	C3	32	0	63	8	46	82
Años desde la menopausia (años)	C1	61	0	5	8	0	30
	C2	78	2	10	10	0	55
	C3	32	0	12	8.5	0	40
Edad Menarquia (años)	C1	61	0	13	2	10	15
	C2	79	1	13	2	9	16
	C3	32	0	13	2	10	16
Lactancia Acumulada (meses)	C1	61	0	3.5	6	0	36
	C2	80	0	4.5	9.25	0	60
	C3	31	1	3	10	0	60
Embarazos (n)	C1	61	0	2	2	0	5
	C2	80	0	2	1	0	6
	C3	32	0	2	3	0	7
Hijos (n)	C1	61	0	2	1	0	5
	C2	80	0	2	1	0	5
	C3	32	0	2	2.25	0	6
Ausencias dentales (derecha) (n)	C1	60	1	1	3	0	14
	C2	79	1	1	2	0	14
	C3	32	0	3	4.25	0	14
Ausencias dentales (izquierda) (n)	C1	60	1	1	1.25	0	14
	C2	79	1	2	2	0	14
	C3	32	0	4	3.25	0	14

Para la edad de menarquía, las medianas son consistentes en las tres categorías, todas ubicándose en 13 años y no existiendo diferencias estadísticamente significativa ($p=0.987$). En cuanto a la lactancia acumulada en meses, las medianas varían levemente entre 3.5, 4.5 y 3 meses para C1, C2 y C3 respectivamente, no existiendo en cualquier caso diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes categorías del índice de Klemetti (I) ($p=0.294$). En lo referente a la cantidad de embarazos y de hijos, las medianas se mantienen consistentes en 2 para todas las categorías sin diferencias estadísticamente significativas ($p=0.223$ y 0.226 respectivamente). En lo que respecta a las ausencias dentales, se observaron diferencias más notables, para la mandíbula derecha, las medianas son de 1 para C1 y C2 y de 3 para C3 observándose

la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p=0.003$). Lo mismo sucede en el lado izquierdo con medianas de 1, 2 y 4 para C1, C2 y C3 respectivamente, con un p-valor estadísticamente significativo asociado a la comparación de 0.005.

IV. 7. 5. Clasificación de Klemetti y pQCT de radio

El análisis de los parámetros derivados de pQCT del radio (densidad total, densidad trabecular, densidad cortical y subcortical; área total, área trabecular y área cortical y subcortical) se realizó test de Kruskal Wallis. No se observaron asociaciones entre la densidad total y la clasificación de Klemetti ($p=0.09$), ni con la densidad trabecular ($p=0.27$). Si se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la densidad cortical y subcortical del radio y la clasificación de Klemetti ($p=0.02$). La densidad cortical y subcortical fue significativamente mayor en los participantes clasificados como C1 frente a los C2 (478.97 mg/cm^3 vs 431.71 mg/cm^3). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las demás categorías. No se observaron diferencias adicionales ni en el área total ($p=0.30$) ni en el área trabecular ($p=0.38$). Tampoco se observaron diferencias en el área cortical o subcortical del radio ($p=0.38$) entre los diferentes grupos clasificados como C1, C2 y C3.

IV. 7. 6. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (MCW y PMI), parámetros biológicos y ausencias dentales.

En el siguiente grupo de análisis sobre la muestra de mujeres se valoró la existencia de diferencias entre el lado izquierdo y el derecho en el MCW y el PMI en función de diferentes parámetros biológicos, así como de la presencia de ausencias dentales.

Tabla 27. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (MCW), parámetros biológicos y ausencias dentales.

Variable		MCW (D)	MCW (I)
Edad (años)	Spearman's rho	0.1504	0.06547
	p-valor	0.048	0.392
Edad Menarquia (años)	Spearman's rho	-0.05365	0.01064
	p-valor	0.485	0.890
Años Menopausia (años)	Spearman's rho	0.1124	0.02978
	p-valor	0.143	0.699
Embarazos (n)	Spearman's rho	0.1671	0.1923
	p-valor	0.028	0.011
Hijos (n)	Spearman's rho	0.1643	0.1850
	p-valor	0.031	0.015
Ausencias dentales (derecha)	Spearman's rho	0.03875	0.02976
	p-valor	0.615	0.699
Ausencias dentales (izquierda)	Spearman's rho	0.08405	0.05049
	p-valor	0.274	0.512

La tabla 27 presenta los coeficientes de correlación de Spearman y p-valores asociados para la relación entre el MCW (D) y MCW (I) y diversas variables. Respecto de la edad de las participantes se observa correlación con el MCW D ($p=0.048$), significativa y positiva, $\rho=0.1504$, mientras que para el MCW (L) la correlación $\rho=0.06547$ no es estadísticamente significativa ($p=0.392$). Para la edad de menarquía, se observan respectivamente $\rho=-0.05365$ y $\rho=0.01064$ para MCW (D) MCW (L), con p-valores asociados que no alcanzan la significancia estadística. En relación con los años desde la menopausia, los coeficientes de Spearman fueron 0.1124 para MCW (D) y 0.02978 para MCW (L). En ambos casos las correlaciones no fueron estadísticamente significativas. Con respecto al número de embarazos, se observaron coeficientes de Spearman de 0.1671 y 0.1923 para MCW (D) y MCW (L) respectivamente. Ambas correlaciones fueron estadísticamente significativas igual que para el caso del número de hijos con coeficientes de 0.1643 para MCW (D) y 0.1850 para MCW (L), y p-valores asociados de 0.031 y 0.015, estadísticamente significativos. Finalmente, para las ausencias dentales en la mandíbula derecha e izquierda, los coeficientes de Spearman fueron

0.03875 y 0.08405, en ambos casos con las correlaciones no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

Tabla 28. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (PMI), parámetros biológicos y ausencias dentales.

Variable		PMI (I)	PMI (D)
Edad (años)	Spearman's rho	0.08276	0.1607
	p-value	0.279	0.035
Edad Menarquia (años)	Spearman's rho	0.01616	-0.06571
	p-value	0.833	0.392
Años Menopausia (años)	Spearman's rho	0.01958	0.1111
	p-value	0.799	0.148
Embarazos (n)	Spearman's rho	0.2059	0.2002
	p-value	0.007	0.008
Hijos (n)	Spearman's rho	0.2051	0.1967
	p-value	0.007	0.009
Ausencias dentales (derecha)	Spearman's rho	-0.006551	0.1469
	p-value	0.932	0.055
Ausencias dentales (izquierda)	Spearman's rho	-0.01489	0.1194
	p-value	0.847	0.120

Posteriormente se estudió la asociación entre las variables anteriormente descritas el PMI (tabla 28). La edad en años reveló un coeficiente de Spearman de 0.08276 para PMI (I) y 0.1607 para PMI (D) con p-valores asociados son de 0.279 y 0.035 respectivamente, observándose que la relación con PMI (I), no es estadísticamente significativa mientras que la asociación de la edad con PMI (D) sí. En lo que respecta a la edad de menarquia en años se observaron coeficientes de Spearman de 0.01616 para PMI (I) y -0.06571 para PMI (D), no siendo estas correlaciones son estadísticamente significativas. Para los años desde la menopausia, los coeficientes de Spearman en PMI (I) y PMI (D) fueron de 0.01958 y 0.1111 respectivamente, nuevamente las correlaciones observadas no fueron estadísticamente no significativas. En relación con el número de embarazos, los coeficientes de Spearman observados fueron de 0.2059 para PMI (I) y 0.2002 para PMI (D). Ambas correlaciones fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$ en ambos casos). En el caso de la variable número de hijos, los coeficientes de Spearman fueron de 0.2051 y 0.1967 para PMI (I) y PMI (D)

respectivamente con p-valores asociados estadísticamente significativos ($p < 0.05$ en ambos casos). Por último, en cuanto a las ausencias dentales en la mandíbula derecha e izquierda, los coeficientes de Spearman varían fueron -0.006551 y 0.1469 respectivamente para PMI (I) y PMI (D), no siendo en cualquier caso estadísticamente significativas. Todas las correlaciones que presentaron significancia estadística fueron en general débiles.

Dado que tanto MCW como PMI presentaron correlaciones estadísticamente significativas con: edad, número de embarazos y número de hijos se procedió a recalcular el coeficiente de correlación para estos embarazos procediendo al ajuste por la edad de los participantes como posible factor de confusión (correlaciones parciales). Para la variable embarazos, los coeficientes ajustados fueron 0.1262 para MCW (D), 0.1812 para MCW (L), 0.1899 para PMI (L) y 0.1583 para PMI (D), manteniéndose en todos los casos la significancia estadística para MCW (L), PMI (L) y PMI (D) ($p < 0.05$ en todos los casos), aunque los coeficientes de Spearman sugieren que las correlaciones observadas son débiles débil. En el caso de MCW (D), la correlación no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Para la variable hijos, se observan los siguientes coeficientes de Spearman: 0.1240 para MCW (D), 0.1736 para MCW (I), 0.1892 para PMI (I) y 0.1553 para PMI (D). En todos los casos se mantuvo la significancia estadística después del ajuste ($p < 0.05$ en todos los casos). Al igual que en la variable embarazos, las correlaciones para MCW (I), PMI (I) y PMI (D) fueron estadísticamente significativas después del ajuste ($p < 0.05$). Sin embargo, la correlación con MCW (D) no fue estadísticamente significativa. En resumen, una vez que se ajusta por la edad de las participantes, tanto para la variable "Embarazos" como para la variable "Hijos", se identifican correlaciones estadísticamente significativas en las categorías MCW (I), PMI (I) y PMI (D). No obstante, estas correlaciones son de magnitud débil. En la categoría MCW (D), las correlaciones no

fueron consideran estadísticamente significativas para ninguna de las dos variables.

IV. 7. 7. Correlación entre parámetros morfológicos mandibulares (MCW y PMI) y ultrasonido óseo cuantitativo del calcáneo

Se utilizó la correlación de Spearman para examinar las relaciones entre variables específicas que incluían UBV, UBPI y BTT derivados del QUS de calcáneo y MCW (R), MCW (L), PMI (R) y PMI (L) derivados de ortopantomografías de la mandíbula. Las correlaciones entre estos parámetros de QUS y los índices mandibulares son en general débiles y no estadísticamente significativas. La correlación entre UBV y MCW (R) fue de -0.08331 ($p=0.269$), mientras que la correlación entre UBV y PMI (R) fue ligeramente más alta, -0.1096 ($p=0.145$) pero no estadísticamente significativa. Similarmente, las correlaciones de UBV con MCW (L) y PMI (L) fueron de -0.06749 ($p=0.371$) y -0.1032 ($p=0.170$), no siendo estadísticamente significativas.

En cuanto al UBPI, la correlación con los índices mandibulares fue aún más baja e igualmente no estadísticamente significativa. La correlación de UBPI con MCW (R) fue de -0.02711 ($p=0.725$) y con PMI (R) de -0.05078 ($p=0.509$). Los valores correspondientes para MCW L y PMI L fueron -0.02362 ($p=0.759$) y 0.002009 ($p=0.979$), respectivamente, no estadísticamente significativos.

Finalmente, las correlaciones de BTT con los parámetros mandibulares estudiados también fueron débiles e insignificantes desde el punto de vista estadístico. La correlación de BTT con MCW R fue de -0.04123 ($p=0.592$), con PMI R de -0.08503 ($p=0.269$), con MCW L de -0.01909 ($p=0.804$) y con PMI L de -0.05642 ($p=0.464$).

Los resultados indican que no hay una correlación fuerte ni significativa entre los parámetros de QUS del calcáneo y las medidas mandibulares obtenidas mediante ortopantomografías en el grupo investigado. Esto sugiere que las medidas de QUS del calcáneo y las medidas mandibulares podrían estar influenciadas por diferentes factores patológicos o fisiológicos.

IV. 7. 8. Estudio de la correlación para la DMO de mandíbula y el ultrasonido óseo cuantitativo del calcáneo

La relación entre la DMO en mandíbula y diversos parámetros obtenidos mediante el QUS de calcáneo fue investigada utilizando el método de correlación no paramétrica de Spearman (tabla 29). Los resultados de esta correlación se presentan a continuación:

Para UBV se registró una correlación muy baja sin significancia estadística entre la DMO en la mandíbula y el UBV (coeficiente de Spearman = 0.06, valor-p= 0.55). No se observa ninguna relación estadísticamente significativa entre el UBV y la DMO en la mandíbula en este estudio, lo cual indica que no es posible utilizarlo como predictor fiable para evaluar esa variable.

Respecto del UBPI, este sigue un patrón parecido al UBV, se halló una relación baja e insignificante desde el punto de vista estadístico entre la DMO en la mandíbula y el índice UBPI (rho de Spearman = 0.06, valor-p =0.54). El análisis realizado demuestra que el UBPI no puede ser considerado como una herramienta efectiva para predecir cambios en la DMO de la mandíbula en esta muestra.

Finalmente, respecto del BTT igualmente la relación observada fue insignificante desde el punto de vista estadístico (Spearman's rho = 0.14, p=0.15). Estos resultados implicarían que, aunque se han observado

indicios de una posible tendencia a la relación entre las variables analizadas, dicha relación carece del suficiente poder predictivo o importancia en el contexto clínico.

Tabla 29. Correlaciones de Spearman entre la DMO de la mandíbula y parámetros derivados del QUS de calcáneo.

Variable		DMO mandíbula
1. DMO mandíbula	Spearman's rho	—
	p-valor	—
2. UBV	Spearman's rho	0.06
	p-valor	0.55
3. UBPI	Spearman's rho	0.06
	p-valor	0.54
4. BTT	Spearman's rho	0.14
	p-valor	0.15

IV. 7. 9. Estudio de la correlación para la DMO de mandíbula, y parámetros derivados del pQCT

Además, se investigó como se correlacionan los valores derivados del análisis por medio de pQCT en el radio con respecto a la DMO medida en la zona mandibular (Tabla 30). La relación entre la DMO en la mandíbula y su respectiva densidad total no mostró ser significativa (Spearman's rho=0.09, p-valor=0.48). Se desprende de estos datos que, de existir, habría una relación limitada entre estas dos variables en la muestra examinada. Continuando en la misma línea de falta de relación sustancial se observó una correlación mínima e insignificante entre la DMO en mandíbula y el tamaño del área total (Spearman's rho= -5.50×10^{-3} , p-valor=0.97). La falta de correlación estadísticamente significativa entre DMO en mandíbula y densidad trabecular es consistente con lo observado para su relación con la densidad total (Spearman's rho=0.08, p-valor=0.53). Los datos permitieron confirmar que no existe una relación solida entre los parámetros de DMO en la mandíbula y el área trabecular, detectándose una correlación insignificante desde el punto de vista estadístico (Spearman's rho = 7.13×10^{-3} , p-valor=0.96). Lo mismo se observó para la correlación entre entre la DMO en la mandíbula y el nivel

de densidad cortical (Spearman's rho=0.08, p-valor= 0.53), lo cual sugiere que estas dos variables están poco relacionadas o presentan muy baja influencia mutua. Igualmente se demostró una falta de vínculo entre la DMO en la mandíbula y el área cortical ya que su correlación resultó carecer de significancia estadística y en cualquier caso prácticamente inexistente (Spearman's rho= -3.22×10^{-3} , p-valor=0.98).

Tabla 30. Correlaciones de Spearman entre la DMO de la mandíbula y parámetros derivados de pQCT

Variable	DMO mandíbula	
1. DMO mandíbula	Spearman's rho	—
	p-valor	—
2. Densidad total (mg/cm³)	Spearman's rho	0.09
	p-value	0.48
3. Área total (mm²)	Spearman's rho	-5.50×10^{-3}
	p-valor	0.97
4. Densidad trabecular (mg/cm³)	Spearman's rho	0.08
	p-valor	0.53
5. Área trabecular (mm²)	Spearman's rho	7.13×10^{-3}
	p-valor	0.96
6. Densidad cortical (mg/cm³)	Spearman's rho	0.08
	p-valor	0.53
7. Área cortical (mm²)	Spearman's rho	-3.22×10^{-3}
	p-valor	0.98

No se observó ninguna relación importante o significativa entre las mediciones de DMO en la mandíbula y los datos obtenidos a través del pQCT. Esto aplica a parámetros específicos derivados de esta técnica: densidad total, área total ósea, densidades trabeculares, corticales, y áreas trabeculares y corticales.

IV. 7. 10. Estudio de la correlación para la presencia de ausencias dentales y parámetros derivados del ultrasonido óseo cuantitativo del calcáneo

Se examinaron específicamente las correlaciones entre las ausencias dentales, tanto en el lado derecho como en el izquierdo, y los parámetros derivados del QUS de calcáneo: UBV, UBPI y BTT. Los resultados revelaron una correlación negativa entre el número de dientes ausentes y UBV en ambos lados de la mandíbula, $\rho = -0.2861$ y -0.3048 respectivamente ($p < 0.001$). Los resultados indicarían que un mayor número de dientes ausentes correlacionaría con una disminución en la velocidad del ultrasonido, lo cual es un indicador de menor densidad. Similarmente, se observó una correlación negativa y estadísticamente significativa entre las ausencias dentales y UBPI con $\rho = -0.2211$ y -0.2127 (p -valores respectivos de 0.004 y 0.005) implicando que la pérdida de dientes podría estar vinculada a un menor UBPI y por tanto reflejar posibles cambios en la calidad ósea. Finalmente, el BTT, mostró una correlación negativa más débil con Spearman's rho de -0.1475 y -0.1678 para los lados derecho e izquierdo, respectivamente, pero solo se observó significancia estadística en el lado izquierdo ($p = 0.029$).

IV. 7. 11. Regresión lineal múltiple: DMO en la cadera, MCW, PMI, clasificación de Klemetti y ajuste por edad y años desde la menopausia.

En el siguiente grupo de análisis se valoraron el MCW, PMI y ausencias dentales como potenciales predictores de la DMO en la cadera, tras el ajuste por edad, peso y años desde la menopausia. En la totalidad de la muestra de mujeres, entre los predictores positivos, se encuentra el IMC con coeficiente no estandarizado de 0.013 (0.002), y coeficiente estandarizado de 0.579 ($p < 0.001$). Esta relación positiva sugiere que, a medida que el IMC aumenta, se asociaría un incremento en la DMO

determinada mediante DXA en la cadera. Otro predictor positivo fue edad, con coeficiente estandarizado de 0.374 ($p < 0.001$). MCW (L) también se comportó como un predictor positivo en el total de la muestra (coeficiente estandarizado=0.391, $p=0.016$). En cuanto a los predictores negativos, se encuentran los Años desde la Menopausia, (coeficiente estandarizado de -0.606, $p < 0.001$) sugiriendo que a medida que aumentan los años desde la menopausia se observa una disminución en la DMO en la cadera. Finalmente hay que señalar que, en el conjunto de mujeres estudiadas, los predictores MCW (R), PMI (L), PMI (R) y las ausencias dentales en los lados izquierdo y derecho, no alcanzaron significancia estadística ($p > 0.05$ en todos los casos).

Dentro del grupo de mujeres clasificadas como C1 según la clasificación de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula, los resultados son semejantes. En lo que concierne a los predictores positivos de la DMO en la cadera, el IMC muestra un coeficiente no estandarizado de 0.012 (0.003), y un coeficiente estandarizado de 0.607 ($p < 0.001$). La variable edad también presenta una relación positiva y estadísticamente significativa con la DMO en la cadera, con un coeficiente estandarizado de 0.482 ($p < 0.001$) al igual que el MCW (L) (coeficiente estandarizado=0.664; $p=0.020$). En contraposición, los Años desde la Menopausia muestran una relación negativa con la DMO en la cadera (coeficiente estandarizado de -0.566; $p < 0.001$). Nuevamente los potenciales predictores: ausencias dentales, MCW R, PMI L y PMI R no se incluyeron en el modelo ($p > 0.05$ en todos los casos).

En el lado izquierdo los resultados son en general similares a los obtenidos al valorar C1 en el lado derecho, aunque se observaron algunas diferencias. Respecto de los predictores con coeficientes estandarizados positivos, la Edad muestra un coeficiente no estandarizado de 0.008 (0.002) y un coeficiente estandarizado de 0.766 ($p < 0.001$). Por otro lado, el IMC presento un coeficiente estandarizado de 0.378 ($p=0.059$), lo que

sugiere que la relación entre el IMC y la DMO en la cadera en este subgrupo de mujeres no es estadísticamente significativa. Igual que en los supuestos anteriores el MCW (L) presentó un coeficiente estandarizado positivo 3.869 ($p < .001$). Respecto a los predictores con coeficientes estandarizados negativos, se observó que los Años desde la Menopausia presentaron un coeficiente estandarizado de -0.682 ($p < 0.001$). Los predictores: ausencias dentales, MCW (R), PMI (L) y PMI (R) no mostraron significancia estadística y no se incluyeron en el modelo ($p > 0.05$ en todos los casos)

Para el grupo de mujeres clasificadas como C2 en el lado derecho según la clasificación de Klemetti, los resultados se muestran en la tabla 31. El IMC, con un coeficiente no estandarizado de 0.012 (0.003), se asoció positivamente con la variable dependiente ($p < 0.001$). Por otro lado, los Años desde la Menopausia presentaron una relación inversa con la variable dependiente (coeficiente estandarizado de -0.507 ($p = 0.008$)).

Tabla 31. Regresión lineal múltiple. DMO en la cadera. Predictores: edad, años desde la menopausia, MCW y PMI. Clasificación de Klemetti C2 Derecha

Coeficientes					
Variables en el modelo	No estandarizados		Estandarizados	t	p-valor
		Error estándar			
IMC (kg/m²)	0.012	0.003	0.506	3.754	< .001
Edad	0.003	0.002	0.300	1.706	0.092
Años Menopausia	-0.006	0.002	-0.507	-2.712	0.008
MCW R	0.021	0.018	0.187	1.166	0.248
MCW L	0.040	0.027	0.362	1.499	0.138
PMI L	-0.046	0.300	-0.035	-0.153	0.879
PMI R	-0.043	0.207	-0.035	-0.205	0.838
Ausencias dentales (D)	-0.005	0.009	-0.180	-0.589	0.558
Ausencias dentales (I)	0.004	0.010	0.116	0.369	0.714

Los restantes predictores: Edad, MCW R, MCW L, PMI L, PMI R, y ausencias dentales no fueron estadísticamente significativos.

En el grupo de mujeres clasificadas como C2 (izquierda) según Klemetti se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 32.

Tabla 32. Regresión lineal múltiple. DMO en la cadera. Predictores: edad, años desde la menopausia, MCW y PMI. Clasificación de Klemetti C2 Izquierda

Coeficientes					
Variables en el modelo	Error estándar		t	p-valor	
	No estandarizados	Estandarizados			
IMC (kg/m ²)	0.015	0.003	0.698	5.721	< .001
Edad	0.003	0.002	0.221	1.661	0.101
Años Menopausia	-0.004	0.002	-0.326	-2.051	0.044
MCW R	0.028	0.019	0.258	1.516	0.134
MCW L	0.004	0.026	0.041	0.163	0.871
PMI L	0.265	0.278	0.210	0.952	0.344
PMI R	-0.109	0.240	-0.083	-0.454	0.652
Ausencias dentales (D)	-0.009	0.011	-0.253	-0.835	0.406
Ausencias dentales (I)	<0.001	0.011	-0.023	-0.077	0.939

El IMC presentó un coeficiente estandarizado de 0.698 ($p < 0.001$). Los Años desde la Menopausia mostraron un coeficiente estandarizado de -0.326 ($p = 0.044$). Las variables Edad, MCW (R), MCW (L), PMI (L), PMI (R) y ausencias dentales no mostraron significancia estadística en este grupo de mujeres (Klemetti C2 Izquierda) ($p > 0.05$ en todos los casos).

Finalmente se analizó el grupo de mujeres clasificadas como C3 tanto en el lado izquierdo como en el derecho. En este grupo (C3 izquierda) solamente se obtuvieron resultados estadísticamente significativos respecto de la edad y los años desde la menopausia. La variable Edad exhibió un coeficiente estandarizado de 1.077 ($p < 0.001$) y los Años desde la Menopausia un coeficiente estandarizado -1.552 ($p < 0.001$). Las variables IMC, MCW (R), MCW (L), PMI (L), PMI (R) no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

Respecto de las mujeres clasificadas como C3 en el lado derecho no se observaron predictores estadísticamente significativos presentando en todos los casos p-valores asociados que excedían el umbral de significancia estadística.

IV. 7. 12. Regresión lineal múltiple: DMO en la columna, MCW, PMI, clasificación de Klemetti y ajuste por edad y años desde la menopausia.

Se valoró mediante regresión lineal múltiple los posibles predictores de la DMO en la columna incluyendo en el modelo: IMC, edad, años desde la menopausia, MCW y PMI. En el total de la muestra, el IMC presentó un coeficiente no estandarizado de 0.018 (0.003) y un coeficiente estandarizado de 0.490 ($p < 0.001$). La Edad también fue predictor significativo con un coeficiente estandarizado de 0.251 ($p = 0.009$). Respecto de los Años desde la Menopausia, el coeficiente estandarizado fue de -0.329 ($p = 0.002$) y finalmente para el MCW (L) este coeficiente fue de 0.383 ($p = 0.011$), sugiriendo en ambos casos una asociación estadísticamente significativa con la DMO en la columna. Finalmente, también se observó una asociación estadísticamente significativa con las ausencias dentales en el lado derecho (coeficiente estandarizado -0.457, $p = 0.048$). Las variables MCW (R), PMI (L) y PMI (R), con p-valores de 0.515, 0.654 y 0.932 respectivamente, no alcanzan el umbral de significancia y no se incluyeron en el modelo.

Para las mujeres clasificadas como C1 según la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo, los resultados indican que la variable 'Edad' y 'MCW (L)' son predictores estadísticamente significativos de la DMO en la columna ($p = 0.031$ y $p = 0.011$, respectivamente). En contraste, variables como 'MCW (R)' y 'PMI (R)' no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$ en ambos casos). Cabe destacar que las ausencias dentales, el IMC y los Años de Menopausia tampoco fueron predictores estadísticamente significativos. El coeficiente estandarizado más alto se observó para 'MCW L' (0.839), indicando una positiva igual que con la que se observó con la edad (0.478).

En el grupo de mujeres clasificadas como C1 en el lado derecho de la mandíbula, el modelo incluyó el IMC) con un coeficiente no estandarizado de 0.015 (0.004), reflejando una relación positiva con la DMO en la columna ($p < 0.001$). La edad, con un coeficiente no estandarizado de 0.008 (0.002), también muestra una asociación positiva y significativa con la DMO en la columna ($p = 0.002$). Por otro lado, los años desde la menopausia actuaron como un predictor negativo de la DMO en la columna, con un coeficiente de -0.314 ($p = 0.026$). Los parámetros mandibulares MCW (R) y MCW (L) presentaron resultados mixtos; el MCW (R) no mostró asociación estadísticamente significativa, mientras que el MCW (L) sí presentó una relación positiva y significativa con la DMO de la columna ($p = 0.016$). El PMI tanto en el lado izquierda como en el derecho exhibió coeficientes no estandarizados opuestos, no siendo en cualquier caso ninguno de los dos estadísticamente significativo. Finalmente, la cantidad de ausencias dentales, tanto en el lado derecho como en el lado izquierdo mostró coeficientes no estandarizados de -0.022 y 0.015 respectivamente, pero que igualmente no alcanzaron significancia estadística ($p = 0.248$ y 0.433 respectivamente).

Respecto de las mujeres clasificadas como C2 en el lado izquierdo, el IMC mostró un coeficiente estandarizado positivo de 0.538 ($p < 0.001$), indicando una asociación estadísticamente significativa, positiva y robusta entre el IMC y la DMO en la columna en este grupo. La variable 'Edad' y las demás medidas como los Años desde la Menopausia, MCW (R) y (L), y PMI (L) y (R), y ausencias dentales, sin embargo, no alcanzaron el umbral convencional de significancia estadística ($p > 0.05$ en todos los casos).

Respecto del lado derecho de la mandíbula, el IMC, con coeficiente estandarizado de 0.523 ($p < 0.001$) sugirió una relación positiva considerable entre el IMC y la DMO de la columna en este grupo particular de mujeres. Las variables: edad, años desde la menopausia, MCW (L) y (D),

PMI (L) y (D) y ausencias dentales no presentaron significancia estadística y no fueron por tanto potenciales predictores incluidos en el modelo ($p > 0.05$ en todos los casos).

Finalmente, en el grupo de mujeres clasificadas como C3, los resultados indican diferencias notables en la influencia de las variables sobre la DMO en la columna, en comparación con las mujeres clasificadas como C2. En este grupo, la variable 'Edad' mostró una asociación significativa y fuerte con la DMO en la columna, con un coeficiente estandarizado de 0.906 ($p < 0.001$). De manera similar, los Años desde la Menopausia también presentan una asociación significativa con la DMO, pero en dirección opuesta (coeficiente estandarizado de -1.114 y valor de $p = 0.002$). Por otro lado, el IMC, que mostró una relación significativa en el grupo C2, en el grupo C3 no presenta una asociación estadísticamente significativa con la DMO en la columna ($p = 0.684$). Las medidas derivadas de la mandíbula, tanto MCW (R) y (L) como PMI (L) y (R) y ausencias dentales tampoco mostraron una influencia significativa en la DMO de la columna en este grupo ($p > 0.05$ en todos los casos).

En el grupo de mujeres clasificadas como C3 según la clasificación de Klemetti en el lado derecho, no se observa la presencia de ningún predictor estadísticamente significativo (tabla 33).

Tabla 33. Regresión lineal múltiple. DMO en la cadera. Predictores: edad, años desde la menopausia, MCW, PMI y ausencias dentales. Clasificación de Klemetti C3 derecha

Coefficientes						
VARIABLES EN EL MODELO	No estandarizados		Error estándar	Estandarizados	t	p-valor
IMC (kg/m2)	0.002	0.015	0.062	0.102	0.928	
Edad	0.015	0.009	1.305	1.650	0.241	
Años Menopausia	-0.014	0.010	-1.498	-1.340	0.312	
MCW R	-0.212	0.116	-1.860	-1.839	0.207	
MCW L	0.024	0.084	0.212	0.287	0.801	
PMI L	-0.630	1.027	-0.585	-0.613	0.602	
PMI R	3.448	1.483	2.106	2.326	0.146	
Ausencias dentales R	-0.126	0.082	-2.424	-1.540	0.264	
Ausencias dentales L	0.142	0.079	2.378	1.808	0.212	

IV. 7. 13. Regresión lineal múltiple: DMO en la mandíbula. Determinación de factores predictores de la misma.

Se realizó un estudio de regresión lineal múltiple incluyendo diferentes variables densitométricas globales para intentar determinar su papel como potenciales predictores de la DMO en la mandíbula (tabla 34). De esta forma se pretendía confirmar la utilidad de este parámetro odontológico como potencial determinante de la DMO en otras áreas anatómicas y su utilidad como potencial herramienta diagnóstica de baja masa ósea y por ende de la presencia de osteopenia/osteoporosis.

El modelo propuesto es estadísticamente significativo ($p=0.003$) y presenta R (0.433) y R^2 (0.188), sugiriendo la existencia de una correlación leve. El valor R^2 ajustado (ajustado por el número de predictores en el modelo), fue de 0.169 sugiriendo que el modelo explica aproximadamente el 16.9% de la variabilidad en la DMO de la mandíbula. El modelo presenta un VS-MPR de 19.57 de forma que la evidencia a favor de la H_1 es hasta 19.57 veces más fuerte que la evidencia a favor de la H_0 .

Tabla 34. Coeficientes y estudio de colinealidad en modelo regresión lineal múltiple para la DMO en la mandíbula.

Model	Unstandardized	Standard Error	Standardized	t	p	VS-MPR*	Estadísticos de colinealidad	
							Tolerance	VIF
(Intercept)	0.034	0.370		0.092	0.927	1.000		
DMO	1.490	0.478	0.433	3.117	0.003	19.570	1.000	1.000
Cuello								

Las siguientes variables fueron consideradas, pero no entraron en el modelo: MCW R, PMI R, MCW L, PMI L, Edad, Años desde la Menopausia, UBV, UBPI, BTT, DMO Trocánter, L2 DMO, L3 DMO, L4 DMO, L2-L4 DMO, Densidad total, Área total, Densidad trabecular, Área trabecular, Densidad Cort +Subcortical y área Cort+Subcortical. La Tolerancia y el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) indican ausencia de multicolinealidad significativa.

* Vovk-Sellke Maximum p -Ratio calculada según Sellke, Bayarri, & Berger, 2001 (200)

El modelo de predicción de la DMO en la mandíbula solo incluyó la variable DMO en el cuello femoral, como potencial predictor con un coeficiente no estandarizado 1.490. En el cálculo del modelo se han considerado las variables que se enumeran a continuación pero las

mismas han sido excluidas por no alcanzar significancia estadística: MCW (R), PMI (R), MCW (L), PMI (L), Edad, Años desde la Menopausia, variables derivadas del QUS de calcáneo (UBV, UBPI, BTT), variables derivadas del DXA de cadera y columna (DMO Trocánter, L2 DMO, L3 DMO, L4 DMO, L2-L4 DMO) y variables derivadas del pQCT (Densidad total, Área total, Densidad Trabecular, Área trabecular, Densidad Cort + Subcortical y Área Cort + Subcortical).

IV. 7. 14. Relación entre la densidad ósea del hueso calcáneo determinada mediante ultrasonido óseo cuantitativo y la morfometría de la mandíbula (clasificación de Klemetti).

En la tabla 35 se exponen las estadísticas descriptivas referentes a tres parámetros distintos derivados del QUS de calcáneo: UBV, UBPI y BTT. Cada categoría se dividió en tres subgrupos, identificados como C1, C2 y C3 conforme a los criterios de Klemetti inicialmente en el lado derecho de la mandíbula. Para la variable UBV, el subgrupo C1 reportó 87 observaciones, exhibiendo una mediana de 2068 m/s (RIQ=110 m/s) (1837-2188 m/s). En contraste, el subgrupo C2 presento 80 observaciones mediana de 2000.5 m/s (RIQ=122.5). El subgrupo C3, con 11 reportó una mediana de 1963 m/s (RIQ=152.5 m/s) (1771-2173 m/s). Existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ($P < 0.001$) y estas se mantienen tras ajustar por la edad de los participantes ($p = 0.009$). El análisis post hoc tras ajustar por las comparaciones múltiples indicó la existencia de diferencias entre C1 y C2 ($p = 0.016$), no observándose entre C1 y C3 ($p = 0.180$) ni entre C2 y C3 ($p = 0.903$).

Tabla 35. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula.

	n	Perd.	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor	p-valor*
	C1 87	0	2068	110	1837	2188		
UBV (m/s)	C2 80	1	2000.5	122.5	1717	2178	<0.001	0.009
	C3 11	0	1963	152.5	1771	2173		
	C1 86	1	0.655	0.298	0.220	0.920		
UBPI (s)	C2 74	7	0.530	0.235	0.240	1.050	<0.001	0.022
	C3 11	0	0.440	0.150	0.180	0.800		
	C1 86	1	1.380	0.290	0.930	2.220		
BTT (s)	C2 74	7	1.330	0.307	0.300	1.900	0.005	0.151
	C3 11	0	1.130	0.355	0.900	1.650		

*ajustado por edad y peso

Respecto del parámetro UBPI (tabla 35), el subgrupo C1 contó con una mediana de 0.655 s (RIQ=0.298 s), el subgrupo C2 con 74 observaciones mostró una mediana de 0.530 s (RIQ=0.235 s) y el subgrupo C3 señaló una mediana de 0.440 s (RIQ=0.150) (0.180-0.800 s). Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio ($p < 0.001$), las cuales se mantuvieron tras ajustar por la edad de los/las participantes ($p = 0.022$). Al realizar el análisis post hoc y aplicar el test de Scheffé las diferencias dejaron de observarse (C1 vs C2, $p = 0.125$; C1 vs C3, $p = 0.064$ y C2 vs C3, $p = 0.400$).

Finalmente, para BTT (tabla 35), el subgrupo C1 mostró 86 observaciones y una mediana de 1.380 s (RIQ=0.290 s) (0.930-2.22 s). El subgrupo C2, con 74 observaciones tuvo una mediana de 1.330 s (RIQ=0.307 s) (0.300-1.900 s). El subgrupo C3, registró una mediana de 1.130 s (RIQ=0.355 s) (0.900-1.650 s). Se reportaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos de estudio ($p = 0.005$), sin embargo, estas no se mantuvieron tras ajustar por la edad y el peso de los/las participantes en el estudio ($p = 0.151$).

La tabla 36 presenta la misma información que la tabla precedente, pero en este caso referida a la clasificación de Klemetti en el lado

izquierdo de la mandíbula. En el caso de UBV, el subgrupo C1 reportó 64 observaciones con una mediana de 2083 (m/s) (RIQ=104 m/s). El subgrupo C2 con 82 observaciones mostró una mediana de 2009 (m/s) (RIQ=126.5 m/s) (1717-2187 m/s). Para el subgrupo C3 se analizaron un total de 32 determinaciones con una mediana de 1981 m/s (RIQ=141.5 m/s). Se reportaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ($p < 0.001$) y estas diferencias se mantuvieron tras el ajuste por edad de los/las participantes. El análisis post hoc mediante el test de Scheffé reveló la existencia de diferencias entre C1 y C2 ($p = 0.008$) y entre C1 y C3 ($p = 0.002$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre C2 y C3 ($p = 0.446$).

Tabla 36. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula.

	n	Perd.	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor	p-valor*
UBV (m/s)	C1	64	0	2083	104	1883	2188	
	C2	82	1	2009	126.5	1717	2187	<0.001 <0.001
	C3	32	0	1981	141.5	1814	2156	
UBPI (s)	C1	62	2	0.680	0.260	0.270	0.960	
	C2	79	4	0.530	0.265	0.180	0.920	<0.001 <0.001
	C3	30	2	0.455	0.173	0.240	1.050	
BTT (s)	C1	62	2	1.400	0.222	1.030	2.220	
	C2	79	4	1.330	0.340	0.800	1.900	0.003 0.119
	C3	30	2	1.205	0.340	0.300	1.830	

*ajustado por edad y peso

Referente a UBPI, el subgrupo C1 contó con 62 observaciones con mediana de 0.680 s (RIQ=0.260 s) (0.270-0.960 s). En el subgrupo C2 se reportaron un total de 79 con una mediana de 0.530 s (RIQ=0.265 s), y en el subgrupo C3, con 30 observaciones la mediana fue de 0.455 s (RIQ=0.173 s) (0.240-1.050 s) (tabla 36). Se reportaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ($p < 0.001$) y las mismas se mantuvieron tras el ajuste por la edad de los participantes ($p < 0.001$). En el análisis de subgrupos se observaron diferencias estadísticamente significativas entre C1 y C2 ($p = 0.003$) y entre C1 y C3

($p=0.001$). No se observan diferencias estadísticamente significativas entre C2 y C3 ($p=0.439$).

Finalmente, para BTT, el subgrupo C1 reveló 62 observaciones con una mediana de 1.4 s (RIQ= 0.222 s). El subgrupo C2 presentó un total de 79 determinaciones con una mediana de 1.33s (RIQ= 0.340 s) y el subgrupo C3 con 30 observaciones mostró una mediana de 1.205 s (RIQ=0.340 s). Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ($p=0.003$), pero las mismas desaparecieron tras el ajuste por edad y peso de los/las participantes ($p=0.119$) (tabla 36).

IV. 7. 14. 1. Relación entre la densidad ósea del hueso calcáneo determinada mediante ultrasonido óseo cuantitativo y la morfometría de la mandíbula (clasificación de Klemetti), en función del sexo.

En el grupo de mujeres los resultados correspondientes a UBV, UBPI y BTT en función de la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo y derecho de la mandíbula se muestran en las tablas 37 y 38 respectivamente.

Tabla 37. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula (grupo de mujeres)

	n	Perd.	Mediana	RIQ	Min.	Max.	p-valor	p-valor*
	C1 61	0	2081	101	1883	2188		
UBV (m/s)	C2 79	1	2013	127	1717	2187	<0.001	<0.001
	C3 32	0	1981	141.5	1814	2156		
	C1 59	2	0.670	0.270	0.270	0.960		
UBPI (s)	C2 76	4	0.530	0.265	0.180	0.920	<0.001	<0.001
	C3 30	2	0.455	0.173	0.240	1.050		
	C1 59	2	1.380	0.200	1.030	1.830		
BTT (s)	C2 76	4	1.330	0.340	0.800	1.900	0.014	0.284
	C3 30	2	1.205	0.340	0.300	1.830		

*ajustado por edad

Para la variable UBV, el subgrupo C1 (n= 61) presentó una mediana de 2081 m/s (RIQ=101 m/s). El subgrupo C2 (n=79) se determinó una mediana de 2013 m/s (RIQ=127 m/s). El subgrupo C3 (n=32) presentó una mediana de 1981 m/s (RIQ= 141.5 m/s) (1814-2156 m/s). Se observó que las diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes grupos permanecían tras el ajuste por edad las participantes ($p<0.001$). El análisis post hoc reveló diferencias entre C1 y C2 ($p=0.012$) y entre C1 y C3 ($p=0.002$), no observándose diferencias estadísticamente significativas entre C2 y C3 ($p=0.408$).

En cuanto a UBPI, el subgrupo C1 (n=59) mostró una mediana de 0.670 s (RIQ=0.27 s), el subgrupo C2 (n=76) una mediana de 0.53 s (RIQ=0.265 s) y el subgrupo C3 (n=30) mostró una mediana de 0.455 s (RIQ=0.173 s) (tabla 34). Las diferencias se mantuvieron tras el ajuste por edad ($p<0.001$). Tras el análisis de comparaciones múltiples se reportaron diferencias entre los grupos C1 y C2 ($p=0.001$), C1 y C3 ($p<0.001$) y no se mantuvieron diferencias estadísticamente significativas entre C2 y C3 ($p=0.484$) para UBPI.

Para la variable BTT, los subgrupos C1 y C2 presentan 59 y 76 observaciones respectivamente, con medianas de 1.380 s y 1.330 s, y RIQs asociados de 0.2 s y 0.34 s. El subgrupo C3 presentó 30 observaciones con una mediana asociada de 1.205 s (RIQ=0.340 s). Se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ($p=0.014$), pero estas no se mantuvieron tras el ajuste por potenciales factores de confusión (edad) ($p=0.284$).

Los resultados correspondientes al lado derecho de la mandíbula se muestran en la tabla 38. En UBV, el subgrupo C1 presentó 84 observaciones y mediana de 2064 m/s (RIQ de 112.5 m/s). El subgrupo C2 (n=77) mostró mediana de 2004 m/s y un RIQ de 130 m/s. Finalmente el subgrupo C3 (n=11), reportó mediana de 1963 m/s (RIQ=152.5 m/s). Las diferencias entre los tres grupos fueron estadísticamente

significativas y se mantuvieron tras el ajuste por la edad de las participantes ($p=0.020$). El análisis post-hoc reveló diferencias entre C1 y C2 ($p=0.038$), no observándose entre C1 y C3 ($p=0.205$) ni entre C2 y C3 ($p=0.876$).

Tabla 38. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula (grupo de mujeres)

	n	Perd.	Mediana	RIQ	Min.	Max.	p-valor	p-valor*
UBV (m/s)	C1	84	0	2064	112.5	1837	2188	
	C2	77	1	2004	130	1717	2178	<0.001 0.020
	C3	11	0	1963	152.5	1771	2173	
UBPI (s)	C1	83	1	0.64	0.295	0.220	0.920	
	C2	71	7	0.53	0.225	0.240	1.050	<0.001 0.024
	C3	11	0	0.44	0.150	0.180	0.800	
BTT (s)	C1	83	1	1.380	0.245	0.930	1.880	
	C2	71	7	1.330	0.315	0.300	1.900	0.011 0.173
	C3	11	0	1.130	0.355	0.900	1.650	

*ajustado por edad

Con relación a UBPI, el subgrupo C1 con 83 observaciones, reportó una mediana de 0.64 s y un RIQ de 0.295 s. El subgrupo C2, con 71 observaciones, mostró una mediana de 0.53 s y un RIQ=0.225 s. El subgrupo C3 tuvo 11 observaciones con una mediana de 0.44 s y el RIQ=0.150 s. Se reportó la existencia de diferencia estadísticamente significativa entre los tres grupos tras el ajuste por edad ($p=0.024$), pero esta no se mantuvo tras realizar las correcciones por comparaciones múltiples (C1 vs C2, $p=0.129$; C1 vs C3, $p=0.067$; C2 vs C3, $p=0.415$).

Finalmente, para BTT, el subgrupo C1 presentó 83 observaciones y una mediana de 1.380 s (RIQ= 0.245 s). El subgrupo C2 presentó 71 observaciones con una mediana de 1.330 s (RIQ=0.315 s). El subgrupo C3, con 11 observaciones registró una mediana de 1.130 s y el RIQ=0.355 s (0.900 s-1.650 s). Las diferencias observadas no se mantuvieron tras el ajuste por la edad de las participantes ($p=0.173$).

Observando los resultados del lado izquierdo y el lado derecho respecto de los parámetros de osteosonografía ósea en el calcáneo y la clasificación de Klemetti observamos que, para la UBV, los valores medianos del subgrupo C1 son similares entre el lado izquierdo (2081 m/s) y derecho (2064 m/s), con una ligera disminución en el RIQ del lado derecho (112.5 m/s vs. 101 m/s), sugiriendo una variabilidad un poco más amplia en el lado derecho. Sin embargo, las diferencias entre los subgrupos en el lado izquierdo son estadísticamente significativas y se mantienen tras ajustar por edad, mientras que, en el lado derecho, aunque hay significancia, no se mantiene en todas las comparaciones post hoc. Respecto del UBPI, se reportó una disminución en la mediana del subgrupo C1 del lado derecho (0.64 s) en comparación con el lado izquierdo (0.670 s), aunque el RIQ es mayor en el lado derecho (0.295 s vs. 0.27 s), denotando dispersión mayor de los datos. Las diferencias entre los subgrupos son significativas en ambos lados después del ajuste por edad, pero la significancia se atenuó en las comparaciones múltiples en el lado derecho de la mandíbula. Para BTT, las medianas del subgrupo C1 son idénticas en ambos lados (1.380 s), pero el RIQ en el lado derecho es ligeramente superior (0.245 s vs. 0.2 s), lo que indica una variabilidad algo mayor. A diferencia de la UBV y la UBPI, las diferencias estadísticas significativas observadas en BTT no se mantuvieron después del ajuste por edad tanto en el lado izquierdo como en el derecho. Este análisis revela que hay consistencia en los patrones de la mediana de UBV y BTT entre ambos lados respecto del índice de Klemetti, pero la existencia de diferentes en el RIQ podría reflejar diferencias en la distribución de los datos o en la precisión de las mediciones. Además, la significancia estadística asociada a las diferencias entre los grupos muestra una tendencia a desaparecer después de ajustes por potenciales factores confusores de la densidad ósea como la edad, lo que sugiere que estos confusores podrían tener un impacto sustancial en las determinaciones densitométricas y en su interpretación.

Respecto del grupo de hombres, los resultados se muestran en las tablas 39 (lado izquierdo) y 40 (lado derecho). Para el lado izquierdo solamente se clasificaron como C1 y C2.

Tabla 39. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula (grupo de hombres)

		n	Perd.	Mediana	RIQ	Min.	Max.	p-valor	p-valor*
UBV (m/s)	C1	3	0	2120	107.5	1956	2171	0.737	
	C2	3	0	1993	98	1980	2176		
UBPI (s)	C1	3	0	0.710	0.185	0.420	0.790	0.316	
	C2	3	0	0.780	0.095	0.690	0.880		
BTT (s)	C1	3	0	2.050	0.175	1.870	2.220	0.039	0.003
	C2	3	0	1.380	0.280	1.220	1.780		

*Ajustado por edad

Para UBV, el subgrupo C1 presento una mediana de 2120 m/s con un RIQ de 107.5 m/s (tabla 36). El subgrupo C2 mostró una mediana ligeramente inferior de 1993 m/s y un RIQ=98 m/s, con valores mínimos y máximos muy cercanos a los del subgrupo C1. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos C1 y C2 respecto del UBV en hombres ($p=0.737$).

Respecto del UBPI, los valores de mediana son mayores en C2 (0.780 s) en comparación con C1 (0.710 s). El RIQ es menor en C2 (0.095 s) que en C1 (0.185 s), indicando una mayor consistencia en estas mediciones en el subgrupo C2. Nuevamente se reporta ausencia de significancia estadística en la comparación entre grupos ($p=0.316$) (tabla 39).

La variable BTT mostró la mayor diferencia entre subgrupos. C1 presentó una mediana significativamente más alta de 2.050 s en comparación con la de 1.380 s reportada en C2 con RIQ de 0.175 s en C1 frente a 0.280 s en C2. La significancia estadística para la diferencia entre

las categorías se mantuvo después del ajuste por edad ($p=0.003$) (tabla 39).

Los datos referentes al grupo de hombres y el lado derecho de la mandíbula se muestran en la tabla 40. Nuevamente solo se reportaron dos subgrupos C1 y C2.

Tabla 40. Velocidad de Banda Ancha Ultrasonográfica (UBV), el Índice de Perfil Óseo por Ultrasonido (UBPI) y el Tiempo de Transmisión Ósea (BTT) conforme a los criterios de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula (grupo de hombres)

		N	Perd.	Mediana	RIQ	Min.	Max.	p-valor	p-valor*
UBV (m/s)	C1	3	0	2171	28	2120	2176	0.001	0.009
	C2	3	0	1980	18.5	1956	1993		
UBPI (s)	C1	3	0	0.790	0.085	0.710	0.880	0.241	
	C2	3	0	0.690	0.180	0.420	0.780		
BTT (s)	C1	3	0	2.050	0.220	1.780	2.220	0.087	
	C2	3	0	1.380	0.325	1.220	1.870		

*Ajustado por edad

Para la UBV, el subgrupo C1 presentó una mediana de 2171 m/s, con un RIQ de 28 m/s. Este subgrupo muestra una diferencia estadísticamente significativa en su mediana comparada con el subgrupo C2 (mediana de 1980 m/s (RIQ=18.5 m/s)) ($p=0.001$). Esta diferencia estadísticamente significativa se mantuvo tras ajustar por la edad de los participantes ($p=0.009$).

En el caso de UBPI, el subgrupo C1 presentó una mediana de 0.790 s (RIQ=0.085 s). Por otro lado, el subgrupo C2 presentó una mediana de 0.690 s (RIQ=0.180 s). La diferencia entre subgrupos no alcanzó significancia estadística ($p=0.241$).

Finalmente, para BTT, se observó en el subgrupo C1 una mediana de 2.050 s (RIQ=0.220 s) frente al subgrupo C2 con mediana de 1.380 s (RIQ=0.325 s), pero sin observarse significancia estadística en dicha comparación ($p=0.087$).

IV. 8. Modelos de regresión logística para predicción del riesgo de baja masa ósea en base a diferentes parámetros morfométricos y densitométricos mandibulares.

En el siguiente grupo de análisis se utilizó el procedimiento estadístico de la regresión logística para generar modelos que permitan predecir la probabilidad de baja masa ósea (variable dicotomizada como (osteopenia/osteoporosis vs normalidad) en función de la DMO de la mandíbula y a los diferentes parámetros morfométricos estudiados (MCW, PMI, clasificación de Klemetti).

IV. 8. 1. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base a la densidad mineral ósea de la mandíbula

El valor de Chi-cuadrado (X^2) para el modelo propuesto fue de 4.904, ($p=0.027$) confirmando la validez del modelo y la capacidad potencial de predicción del riesgo de baja masa ósea en base a la DMO de mandíbula. Los valores de R^2 ajustados para este modelo, aunque modestos, reflejaron una mejora en la capacidad explicativa del modelo: McFadden $R^2=0.033$, Nagelkerke $R^2=0.059$, Tjur $R^2=0.043$ y Cox & Snell $R^2=0.044$. Estos valores sugieren que el modelo alternativo que incluye la DMO en la mandíbula, aunque no explica una gran proporción de la varianza en el riesgo de baja masa ósea, sí proporciona una mejora significativa.

La DMO en la mandíbula presentó un coeficiente estimado de -1.192 (tabla 41). Se sugiere por tanto una asociación negativa entre la medida de DMO en la mandíbula y el riesgo de desarrollar baja masa ósea en la muestra de estudio; es decir, a medida que se observa un aumento de la DMO mandíbula, disminuye la probabilidad de desarrollar baja masa ósea

(osteopenia/osteoporosis). El odds ratio (OR) correspondiente fue de 0.304, lo cual reforzó esta interpretación ($p=0.036$).

Tabla 41. Influencia de la Densidad Mineral Ósea Mandibular en la Baja Masa Ósea: Modelo de Regresión Logística

Odds ratio (DMO mandíbula (g/cm ²))									
	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Statistic	df	p	Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)	
								Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	1.549	0.637	4.705	2.433	5.917	1	0.015	1.351	16.387
DMO mandíbula (gr/cm²)	-1.192	0.569	0.304	-2.094	4.383	1	0.036	0.100	0.927

La precisión del modelo, que refleja la proporción de predicciones correctas (tanto de casos positivos como negativos) sobre el total de casos, fue del 57.8%. La sensibilidad o tasa de verdaderos positivos fue del 80.6% (el modelo identifica correctamente el 80.6% de los casos verdaderos de baja masa ósea).

Por otro lado, la especificidad, que mide la proporción de negativos verdaderos identificados correctamente, fue notablemente más baja, identificando correctamente entorno al 27.7% de los casos sin la condición. Finalmente, la precisión, (proporción de predicciones positivas verdaderas sobre el total de predicciones positivas) fue del 59.5%.

La Ilustración 16 muestra el gráfico de dispersión con curva de ajuste, representando la DMO de la mandíbula en relación con la probabilidad de presentar baja densidad ósea (osteopenia/osteoporosis) en el grupo de estudio.

La curva de ajuste continua modela la relación entre la DMO mandibular y la probabilidad de tener baja densidad ósea, decreciendo a medida que aumenta la DMO mandibular.

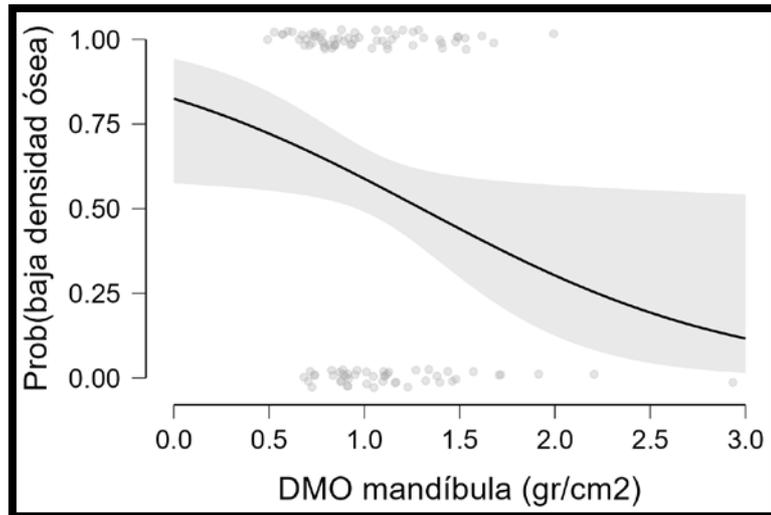


Ilustración16. Curva de ajuste entre la probabilidad de tener baja DMO global y la DMO en la mandíbula en la totalidad de la muestra. La curva se acompaña de una banda de confianza al 95% en tono gris claro que se expande alrededor de la curva, indicando la variabilidad o incertidumbre en las estimaciones del modelo. Los puntos dispersos en el gráfico representan las observaciones individuales del estudio.

IV. 8. 2. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base al MCW D y el MCW I.

En el siguiente grupo de análisis se valoraron los parámetros MCW (L) y MCW (R) como potenciales covariables del modelo de regresión logística. El modelo resultante no fue estadísticamente significativo ($p=0.158$). Los criterios de información de Akaike (AIC) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC) para el modelo nulo fueron 228.937 y 232.124, respectivamente, mientras que el modelo alternativo que incluye las variables predictoras mostró AIC de 229.245 y un BIC de 238.807 siendo relativamente cercanos a los del modelo nulo y no significativos, de forma que MCW (R) y MCW (L) no proporcionan una mejora significativa en la predicción de la baja masa ósea en comparación con el modelo nulo.

IV. 8. 3. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base al PMI I y el PMI D.

Para el modelo base (H_0), que no incorpora predictores los valores del AIC y del BIC son de 228.937 y 232.124 respectivamente, los cuales permiten evaluar la calidad del modelo en términos de la penalización por el número de predictores utilizados. El modelo H_1 que incluye como predictores PMI (I) y PMI (D) mostró AIC y BIC de 230.694 y 240.256 lo que sugeriría que probablemente las variables incluidas no añadían una mejora significativa al modelo. Esto se confirmó al verificar la falta de significancia estadística en el modelo alternativo ($p=0.326$) sugiriendo que las variables predictoras PMI (I) y PMI (D) no mejoran significativamente la capacidad del modelo para predecir la baja masa ósea en comparación con el modelo nulo.

IV. 8. 4. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en base a la clasificación de Klemetti.

Primero se valoró la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula respecto de su capacidad predictora de la baja masa ósea. El modelo nulo H_0 , reportó AIC y BIC de 228.937 y 232.124 respectivamente. El modelo H_1 , que incluye como variables predictoras la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo (C1, C2 y C3), mostró AIC de 223.385 y BIC de 232.947, sugiriendo una mejora en la calidad del modelo. El modelo fue estadísticamente significativo (Chi-cuadrado para el modelo H_1 de 9.552 $p=0.008$). La clasificación de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula proporcionó una mejora estadísticamente significativa en la capacidad de predicción de la baja masa ósea.

La tabla 42 muestra los OR calculados para la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula. Se utilizó como categoría de referencia C1.

Tabla 42. Influencia de la clasificación de Klemetti (I) en la Baja Masa Ósea: Modelo de Regresión Logística

	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)	
					Wald Statistic	df	p	Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	0.315	0.253	1.370	1.245	1.550	1	0.213	0.834	2.251
KLEMETTI I (C2)	0.360	0.343	1.433	1.048	1.099	1	0.294	0.731	2.810
KLEMETTI I (C3)	1.631	0.591	5.108	2.757	7.604	1	0.006	1.603	16.281

Para la categoría C2, el OR estimado fue de 1.433 ($p=0.294$), no alcanzando el umbral de significancia estadística. En cambio, para la categoría C3 el OR de 5.108 ($p=0.006$) fue estadísticamente significativo. El intervalo de confianza para este OR al 95% fue amplio (1.603-16.281), lo que refleja la existencia de la asociación, pero con la existencia de una estimación poco precisa. Estos resultados sugerirían que, dentro de este modelo de regresión logística, la categoría C3 de la clasificación de Klemetti I está asociada significativamente con un aumento en la probabilidad de baja masa ósea, mientras que la C2 no mostraría esa asociación significativa ($p>0.05$). Se deben interpretar con cautela estos resultados debido a la amplitud del intervalo de confianza del OR observado para la categoría C3.

En cuanto a las métricas de desempeño del modelo, se reportó una precisión de 0.670. El AUC fue de 0.614. Este valor sugirió que el modelo tiene una capacidad limitada para discriminar entre aquellos con y sin baja masa ósea. La sensibilidad del modelo (tasa de verdaderos positivos), fue de 1, indicando que el modelo identificó correctamente todos los casos reales de baja masa ósea. Sin embargo, la especificidad (tasa de verdaderos negativos), fue de 0.000, lo que significa que el modelo falló a la hora de identificar correctamente los casos reales sin baja masa ósea. La precisión fue de 0.670. La discrepancia entre la alta sensibilidad y la baja especificidad sugeriría que el modelo está sesgado hacia la predicción

de casos positivos, probablemente a costa de generar falsos positivos. En resumen, estas métricas sugieren que la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula tiene una capacidad moderada a baja para predecir correctamente la baja masa ósea, con una excelente sensibilidad, pero una especificidad inexistente. Esto podría hacer que el modelo sea útil en escenarios donde es crítico no perder casos positivos, pero menos útil en situaciones donde la identificación correcta de los negativos es igualmente importante.

La Ilustración 17 muestra el gráfico representando la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula frente a la probabilidad de presentar baja densidad ósea (osteopenia/osteoporosis) en el grupo de estudio según cada categoría (C1, C2 o C3). Las barras verticales que pasan por los puntos centrales representan los intervalos de confianza del 95%

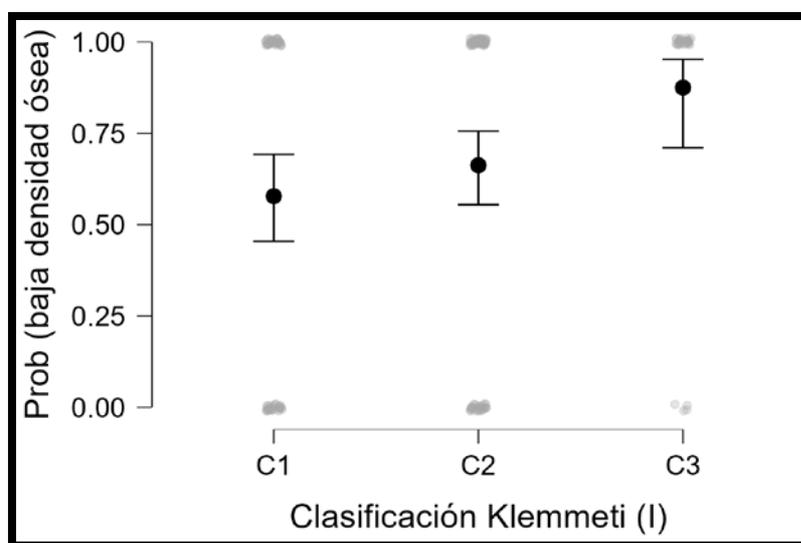


Ilustración 17. Clasificación de Klemetti (I) y probabilidad de baja masa ósea (osteopenia/osteoporosis). Cada categoría tiene un punto de datos central (un círculo negro) que representa la probabilidad estimada de baja densidad ósea para esa categoría. Las barras verticales que pasan por los puntos centrales representan los intervalos de confianza del 95%.

La categoría C2 presenta una probabilidad estimada ligeramente superior a la de C1, con un intervalo de confianza similar en términos de tamaño (no estadísticamente significativa). La categoría C3 muestra la

probabilidad estimada más alta de las tres ($p < 0.05$ respecto de C1), también con un intervalo de confianza que sugiere mayor incertidumbre en la estimación en comparación con C1 y C2. El gráfico confirma que la clasificación de Klemetti (I) es un predictor relevante en la probabilidad de baja densidad ósea, con diferencias notables entre las categorías. La significancia estadística de estas diferencias se apoyaría en los resultados del modelo, específicamente en los OR para las categorías C2 y C3 comparadas con la referencia C1.

Los resultados observados tras analizar la relación entre la clasificación de Klemetti (D) y la presencia de baja masa ósea mediante un modelo de regresión logística indican que el modelo nulo H_0 presentó AIC y BIC de 228.937 y 232.124 respectivamente, mientras que el modelo alternativo presentó AIC de 220.624 y BIC de 230.186, ambos menores que en el modelo nulo, indicando una mejora del modelo alternativo. Este modelo fue estadísticamente significativo ($p = 0.002$), lo que indicó que las variables incluidas en el modelo (categorías C1, C2 y C3 de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula) proporcionaron una mejora estadísticamente significativa en la predicción de la baja masa ósea en comparación con el modelo nulo.

Tabla 43. Influencia de la clasificación de Klemetti (D) en la Baja Masa Ósea: Modelo de Regresión Logística

Odds ratio (clasificación de Klemetti I) (baja masa ósea global)									
	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)	
					Wald Statistic	df	p	Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	0.208	0.216	1.231	0.963	0.928	1	0.335	0.807	1.878
KLEMETTI D (C2)	0.975	0.339	2.651	2.872	8.250	1	0.004	1.363	5.157
KLEMETTI D (C3)	2.095	1.071	8.125	1.957	3.830	1	0.050	0.997	66.230

En lo que respecta a la categoría C2, se reportó una estimación de coeficiente de 0.975, con un error estándar de 0.339 (tabla 43). La OR calculada fue de 2.651 ($p = 0.004$). Este resultado sugiere una relación

estadísticamente significativa entre la categoría C2 y la baja masa ósea global. El intervalo de confianza al 95% para esta OR varió desde 1.363 hasta 5.157.

Para la categoría C3, la estimación del coeficiente fue de 2.095 con una OR asociada de 8.125 ($p=0.050$). El intervalo de confianza al 95% para la OR en este caso fue bastante amplio, oscilando entre 0.997 y 66.230, indicando una variabilidad considerable en esta estimación.

Respecto de la precisión de este modelo se estableció en un 67.0%. Este nivel de precisión muestra una capacidad moderada del modelo para clasificar correctamente los casos. El AUC calculado para el modelo fue de 0.640 sugiriendo sugiere una capacidad moderada del modelo para distinguir entre pacientes con y sin baja masa ósea global. La sensibilidad del modelo fue del 100% de forma que el modelo identificó correctamente todos los casos verdaderos de baja masa ósea global. En contraste, la especificidad registró un valor de 0.000, lo que indicó una incapacidad del modelo para identificar correctamente los casos verdaderamente negativos, es decir, aquellos que no corresponden a baja masa ósea. Este resultado sugiere que todos los casos negativos fueron erróneamente clasificados como positivos. La precisión se reportó también en un 67.0%.

La Ilustración 18 muestra el gráfico representando la clasificación de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula frente a la probabilidad de presentar baja densidad ósea (osteopenia/osteoporosis) en el grupo de estudio según cada categoría (C1, C2 o C3). Las barras verticales que pasan por los puntos centrales representan los intervalos de confianza del 95%.

La categoría C2 presenta una probabilidad estimada superior a la de C1, con un intervalo de confianza similar en términos de tamaño (estadísticamente significativa). La categoría C3 muestra la probabilidad estimada más alta de las tres, pero con un intervalo de confianza mayor, indicando una mayor dispersión de los datos y resultando no ser

estadísticamente significativa respecto de C1. El gráfico nuevamente sugiere que la clasificación de Klemetti (D) podría actuar como un predictor relevante en la probabilidad de baja densidad ósea, con diferencias notables entre las categorías (Ilustración 18).

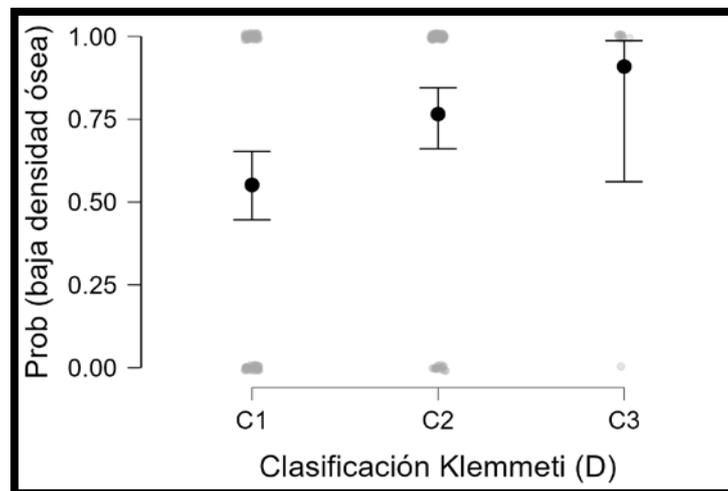


Ilustración 18. Clasificación de Klemetti (D) y probabilidad de baja masa ósea (osteopenia/osteoporosis). Cada categoría tiene un punto de datos central (un círculo negro) que representa la probabilidad estimada de baja densidad ósea para esa categoría. Las barras verticales que pasan por los puntos centrales representan los intervalos de confianza del 95%.

IV. 8. 5. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna, en base a la DMO en la mandíbula.

El modelo nulo (H_0) se caracterizó por un AIC de 152.362 y un BIC de 155.053. El modelo alternativo (H_1), que incorpora las variables predictoras de interés (DMO en la mandíbula), exhibió un AIC y BIC de 150.914 y 156.296, respectivamente. Los resultados indican que probablemente el modelo H_1 no implicaría una mejora con respecto al modelo nulo, lo cual se evidencia al comprobar la falta de significancia estadística asociada al mismo ($\chi^2=3.448$; $p=0.063$). En cuanto a las medidas de la bondad de ajuste, se observa que el coeficiente de McFadden R^2 es=0.023, el Nagelkerke $R^2=0.042$, Tjur $R^2=0.030$, y el Cox & Snell $R^2=0.031$, sugiriendo todas estas métricas que existe una tendencia a la mejora relativa en el ajuste del modelo H_1 que incluye la DMO en la

mandíbula sobre el modelo nulo, pero que esta no alcanza la significancia estadística.

En resumen, el modelo alternativo H_1 para la DMO en la mandíbula, muestra indicios de una cierta capacidad predictiva en la determinación de la baja masa ósea en columna vertebral, aunque las mejoras en las medidas de ajuste son relativamente modestas y no estadísticamente significativas.

Estos hallazgos subrayan la importancia de la interpretación cuidadosa de los coeficientes y de la significancia estadística en el contexto del modelo de regresión logística propuesto.

IV. 8. 6. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna, en base al MCW (I) y MCW (D).

El modelo nulo, H_0 , que actúa como modelo de referencia, exhibió un AIC de 242.443, así como BIC de 245.631. El modelo propuesto que incluye MCW (I) y MCW (D) con el fin de evaluar su relevancia para la determinación del riesgo de baja masa ósea en la columna presentó un AIC de 244.247 y un BIC de 253.809 ($p=0.333$), lo que implica que el modelo propuesto no es estadísticamente significativo.

Las medidas de bondad muestran valores modestos. El McFadden $R^2=0.009$, Nagelkerke $R^2=0.017$, Tjur $R^2 =0.012$ y Cox & Snell $R^2=0.012$, corroborando que la capacidad explicativa del modelo alternativo sobre la variabilidad de la baja masa ósea en columna es mínima. El modelo alternativo H_1 , aunque incorpora al MCW (I) y MCW (D) que teóricamente podrían estar asociadas con la probabilidad de desarrollar baja masa ósea baja en la columna, no demuestra una mejora significativa en la capacidad predictiva en comparación con el modelo nulo.

IV. 8. 7. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna, en base al PMI (I) y PMI (D).

El modelo base H_0 , presentó un AIC de 242.443 y un BIC de 245.631. En contraste, el modelo H_1 que introduce variables específicas (PMI (I) y PMI (D)) mostró un incremento en el AIC y BIC, con valores de 244.113 y 253.675 respectivamente, lo que sugiere que el modelo alternativo puede que no mejore la capacidad predictora del modelo nulo. Esto se confirmó al verificar la falta de significancia estadística asociada al modelo alternativo ($p=0.312$). Estos resultados indican que la inclusión de las variables PMI (I) y PMI (D) no proporciona una mejora estadísticamente significativa en el modelo. Las métricas de bondad de ajuste —McFadden R^2 , Nagelkerke R^2 , Tjur R^2 y Cox & Snell R^2 registraron valores de 0.010, 0.017, 0.013 y 0.013 respectivamente. Estas cifras reflejan solo un incremento mínimo en la varianza explicada por el modelo H_1 , lo cual confirmaría la falta de efectividad del PMI para predecir la baja masa ósea en la columna vertebral. Los resultados obtenidos sugieren que el modelo H_1 no mejora de manera significativa la predicción de la baja masa ósea en la columna.

IV. 8. 8. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la columna en base a la clasificación de Klemetti.

Al modelo H_0 se le atribuyen valores de AIC y BIC de 242.443 y 245.631, respectivamente, respecto del modelo H_1 propuesto, que integró como factor pronóstico las categorías C1, C2 y C3 de Klemetti en el lado derecho de la mandíbula se obtuvieron índices AIC y BIC de 242.143 y 251.705 ($p=0.116$).

No se alcanzó por tanto el umbral de significancia estadística para el modelo alternativo, aunque los resultados podrían sugerir una tendencia hacia una mejora en la predicción tras la incorporación de la

variable independiente. De esta forma las estadísticas de bondad de ajuste como McFadden R^2 , Nagelkerke R^2 , Tjur R^2 y Cox & Snell R^2 mostraron valores de 0.018, 0.032, 0.023 y 0.024, respectivamente. Estas confirman que el modelo H_1 , solo proporciona una mejora limitada en la explicación de la variabilidad de los datos en comparación con el modelo base. De este modo, el modelo H_1 podría mostrar una tendencia hacia cierta capacidad predictiva de la presencia de baja masa ósea en la columna vertebral mediante el estudio de la clasificación de Klemetti en el lado D.

No obstante, la ausencia de significancia estadística y la modesta magnitud de las métricas de bondad de ajuste sugieren cautela en la interpretación de los resultados y apuntan a la necesidad de futuras investigaciones para validar la utilidad clínica de las variables incorporadas en el modelo.

Resultados diferentes se obtienen cuando se incorpora la clasificación de Klemetti en el lado (I). El modelo de referencia (H_0), presentó valores de AIC y BIC de 242.443 y 245.631, respectivamente. El modelo con predictores (H_1) (clasificación de Klemetti (I)) mostró AIC y el BIC que disminuyeron a 238.645 y 248.207, respectivamente, indicando una probable mejor adecuación del modelo con los predictores propuestos. Este modelo presentó significancia estadística ($\chi^2=7.798$; $p=0.020$). Las medidas de bondad de ajuste asociadas al modelo H_1 fueron: McFadden $R^2=0.032$, Nagelkerke $R^2=0.058$, Tjur $R^2=0.040$ y Cox & Snell $R^2=0.043$, indicando una mejora en la capacidad explicativa del modelo propuesto respecto a la variabilidad observada.

El modelo H_1 es considerablemente más efectivo que el modelo base en la predicción de baja masa ósea en la columna vertebral mediante la utilización de la clasificación de Klemetti en el lado (I).

Analizando en detalle el modelo, para la categoría C2 se reportó un OR de 1.082 (tabla 44) ($p=0.814$). Esto muestra que el OR determinado

para la categoría C2 no es estadísticamente significativo. En el caso de la categoría C3, se determinó una estimación de coeficiente de 1.278 (0.518), con un OR asociado de 3.590 ($p=0.014$) (IC 95% OR=1.301-9.907), lo que indica que hay una asociación significativa entre la clasificación de Klemetti (I) C3 y la probabilidad de tener baja masa ósea en columna respecto de la categoría de referencia C1. Estos resultados proporcionan una perspectiva cuantitativa sobre cómo la clasificación de Klemetti puede estar asociada con la presencia de baja masa ósea en la columna, destacando la importancia de la categoría C3 en este contexto.

Tabla 44. Influencia de la clasificación de Klemetti (I) en la Baja Masa Ósea en la columna lumbar: Modelo de Regresión Logística

Odds ratio (clasificación de Klemetti I) (Baja masa ósea en columna)									
	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)	
					Wald Statistic	df	p	Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	0.188	0.251	1.207	0.749	0.561	1	0.454	0.738	1.974
KLEMETTI (I) (C2)	0.079	0.335	1.082	0.235	0.055	1	0.814	0.561	2.085
KLEMETTI (I) (C3)	1.278	0.518	3.590	2.468	6.093	1	0.014	1.301	9.907

Sin embargo, las métricas asociadas al desempeño del modelo fueron modestas. La exactitud del modelo presentó un valor de 0.603. En relación al AUC, el modelo alcanza un valor de 0.585. La sensibilidad del modelo fue de 1.000, indicando que tiene una capacidad perfecta para identificar todos los casos reales de baja masa ósea en la columna.

No obstante, la especificidad fue de 0.000, mostrando que el modelo no pudo identificar correctamente ningún caso sin baja masa ósea en la columna, clasificando todos los casos negativos como si fueran positivos. La precisión del modelo fue de 0.603. Estas métricas reflejan la tendencia del modelo a clasificar los casos como de baja masa ósea en la

columna. La alta sensibilidad combinada con una baja especificidad sugiere que, aunque el modelo es eficaz para detectar la presencia de baja masa ósea en la columna, su aplicación podría conducir a un número elevado de falsos positivos, lo cual debería ser una consideración importante en la práctica clínica y en la interpretación de los resultados del modelo.

Al clasificar a los/las participantes según la clasificación de Klemetti en el lado izquierdo de la mandíbula se observó que la categoría C2 presenta una probabilidad estimada semejante C1, con un intervalo de confianza similar en términos de tamaño (no estadísticamente significativa). La categoría C3 muestra la probabilidad estimada más alta de las tres, pero nuevamente, con un intervalo de confianza incrementado, sugiriendo por tanto una mayor dispersión de los datos, pero estadísticamente significativa respecto de C1. El gráfico nuevamente sugiere que la clasificación de Klemetti (I) puede posicionarse como un predictor relevante en la probabilidad de baja densidad ósea, con diferencias apreciables entre las categorías (Ilustración 19).

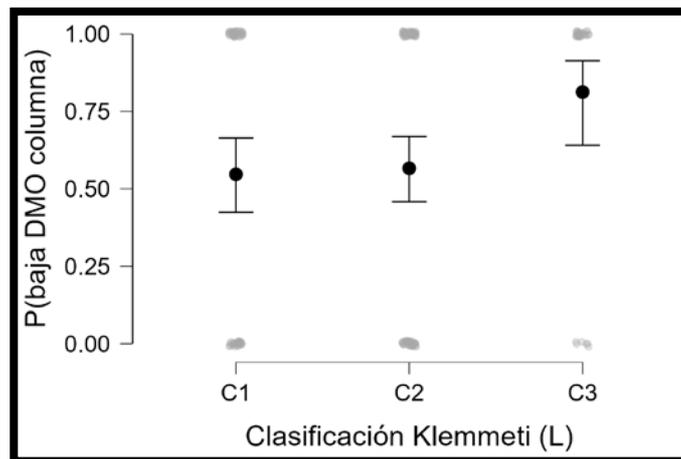


Ilustración 19. Clasificación de Klemetti (D) y probabilidad de baja masa ósea (osteopenia/osteoporosis). Cada categoría tiene un punto de datos central (un círculo negro) que representa la probabilidad estimada de baja densidad ósea para esa categoría. Las barras verticales que pasan por los puntos centrales representan los intervalos de confianza del 95%.

IV. 8. 9. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base a la DMO en la mandíbula.

Respecto de la relación de la DMO en la mandíbula y su capacidad para predecir la baja masa ósea en la cadera de los/las participantes en el estudio, el modelo H_0 , se caracterizó con índices AIC y BIC de 144.167 y 146.858 respectivamente. El modelo propuesto (alternativo) que sí incorpora a la DMO en la mandíbula como variables predictoras, mostró AIC y BIC de 138.447 y 143.829, respectivamente, sugiriendo mayor precisión del modelo con la inclusión de la DMO en la mandíbula a la hora de predecir la baja DMO en la cadera. El modelo ajustado fue estadísticamente significativo ($p=0.005$). Las medidas de bondad de ajuste revelan un incremento considerable para el modelo H_1 (modelo propuesto): McFadden $R^2=0.054$, Nagelkerke $R^2=0.094$, Tjur $R^2=0.066$ y Cox & Snell $R^2=0.068$. Estos valores sugieren que la DMO en la mandíbula tiene una capacidad significativamente mejorada para explicar la variabilidad observada en los datos de baja masa ósea en la cadera en comparación con el modelo base. El análisis sugiere que el modelo H_1 por tanto proporciona una predicción más precisa de la baja masa ósea en la cadera en comparación con el modelo de referencia H_0 .

El modelo de regresión logística propuesto permitió estimar las OR (tabla 45). En cuanto a la variable independiente, DMO de la mandíbula (gr/cm^2), se observó un OR de 0.171 (IC 95% 0.043-0.684), indicando que un aumento en la DMO de la mandíbula se asocia con la disminución en la probabilidad de baja masa ósea en la cadera ($z=-2.497$, Wald=6.236; p -valor=0.013). Este resultado sugiere una relación inversa y notable entre la DMO de la mandíbula y el riesgo de baja masa ósea en la cadera. Este resultado proporciona evidencia estadística de una relación significativa entre la DMO de la mandíbula y la probabilidad de baja masa ósea en la cadera, destacando la importancia de la DMO mandibular como un posible indicador predictivo en este contexto.

Respecto de las métricas de rendimiento del modelo de regresión logística previamente analizado, la exactitud del modelo fue de 0.697. El AUC es de 0.653, suponiendo una capacidad discriminadora moderadamente efectiva. La sensibilidad del modelo fue de 0.205. La especificidad del modelo fue de 0.971. Finalmente, la precisión del modelo fue del 80%. Estas métricas de rendimiento proporcionan una visión integral de la eficacia de un modelo que presenta una alta especificidad y precisión (sugiriendo que la DMO en la mandíbula tiene una fuerte capacidad para identificar correctamente los casos sin baja masa ósea en la cadera y para hacer predicciones positivas confiables) y baja sensibilidad (indicando una limitación en la capacidad del modelo para detectar todos los casos verdaderos de baja masa ósea en la cadera). Estos sugieren que se debe considerar la importancia de considerar múltiples aspectos del rendimiento del modelo al interpretar su utilidad en la práctica clínica y en la investigación.

Tabla 45. Influencia de la DMO en la mandíbula en la baja masa ósea en la cadera: Modelo de Regresión Logística

Odds ratio (DMO mandíbula (gr/cm²)) (Baja masa ósea en cadera)									
	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)	
					Wald Statistic	df	p	Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	1.221	0.727	3.392	1.680	2.822	1	0.093	0.816	14.105
DMO mandíbula (gr/cm ²)	-1.763	0.706	0.171	-2.497	6.236	1	0.013	0.043	0.684

El gráfico de dispersión mostrado en la Ilustración 20, con una curva de regresión y su intervalo de confianza asociado, representa la relación entre la DMO de la mandíbula y la probabilidad de baja DMO en la cadera. Este confirma los resultados obtenidos mediante el modelo de regresión logística. Se muestra una tendencia decreciente, lo que implica que a medida que aumenta la DMO de la mandíbula, la probabilidad de baja DMO en la cadera disminuye. El intervalo de confianza del 95% tiene

tendencia aumentar medida que aumenta la DMO de la mandíbula lo que sugeriría una estimación de la probabilidad de baja masa ósea en la cadera menos precisa para valores más altos de DMO mandibular.

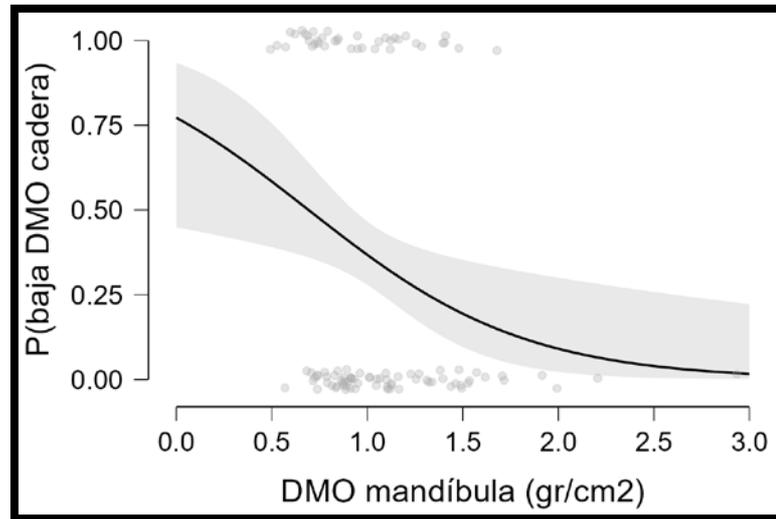


Ilustración20. Relación entre la densidad mineral ósea de la mandíbula y la probabilidad de baja densidad mineral ósea en la cadera. La línea sólida representa la curva de regresión logística estimada, y la región sombreada denota el intervalo de confianza del 95%. Los puntos dispersos corresponden a las observaciones individuales, evidenciando la variabilidad de los datos y la tendencia decreciente de la probabilidad de baja DMO en la cadera con el aumento de la DMO mandibular.

IV. 8. 10. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base al MCW (D)/(I).

Se desarrolló un modelo de regresión logística para investigar la asociación entre el MCW como variable independiente y la baja masa ósea en la cadera. El modelo nulo mostró un AIC de 247.183 y un BIC de 250.371. El modelo que incluye al índice MCW reportó AIC y BIC que aumenta ligeramente a 248.142 y el BIC a 257.704, reflejando probablemente una penalización por la inclusión del MCW. El modelo no fue estadísticamente significativo ($\chi^2=3.041$; $p=0.219$).

Los resultados son consistentes con los obtenidos en términos de la bondad de ajuste, teniendo el modelo H_1 un McFadden $R^2=0.012$, un Nagelkerke $R^2=0.023$, un Tjur $R^2=0.017$ y un Cox & Snell $R^2=0.017$. Todos estos parámetros vienen a indicar que la inclusión de MCW como variable independiente no ofrece una mejora en la capacidad del modelo para explicar la variabilidad en la baja masa ósea en la cadera y en conjunto, que el MCW, tiene una influencia limitada o nula en la predicción de la baja masa ósea en la cadera en el contexto del modelo evaluado.

IV. 8. 11. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base al PCI (D)/(I).

En el análisis del modelo de regresión logística que examinó el efecto del índice PMI sobre la baja masa ósea en la cadera, muestra que su inclusión como variable independiente (modelo H_1) resulta en valores incrementados de AIC y BIC en comparación con el modelo nulo. Esto sugiere que, pese a agregar una variable al modelo (PMI D/I), no se logra una mejora sustancial en su calidad ($p=0.725$).

Los índices de bondad de ajuste como McFadden R^2 , Nagelkerke R^2 , Tjur R^2 y Cox & Snell R^2 muestran incrementos muy modestos, confirmando que la varianza explicada por la inclusión del PMI en el modelo es mínima, por tanto, el PMI no parece actuar como un predictor significativo de la baja masa ósea en la cadera en el modelo propuesto.

IV. 8. 12. Modelo de regresión logística para baja masa ósea en la cadera, en base a la clasificación de Klemetti (D)/(I).

En el siguiente modelo de regresión logística elaborado, se investigó la asociación entre la clasificación de Klemetti (I) y la incidencia de baja masa ósea en la cadera. El modelo mostró mejoras en los indicadores de ajuste al integrar la variable clasificación de Klemetti al

modelo, como refleja el AIC y el BIC, los cuales disminuyen de 247.183 y 250.371 en H_0 a 238.849 y 248.411 en H_1 , respectivamente. Estos resultados sugieren una mayor eficacia del modelo H_1 en términos de calidad. El modelo fue estadísticamente significativo ($\chi^2=12.334$; p-valor=0.002), confirmando una relación entre la variable predictora (clasificación de Klemetti (I)) y la variable de respuesta (baja masa ósea en la cadera).

Respecto a los coeficientes asociados al modelo se observa una mejora respecto de modelos anteriores en las métricas de bondad de ajuste, con un McFadden $R^2=0.050$, un Nagelkerke $R^2=0.089$, un Tjur $R^2=0.068$ y un Cox & Snell $R^2=0.067$. Estas métricas son indicativas de una mejora en la capacidad del modelo propuesto para explicar la variabilidad de la baja masa ósea en la cadera y respaldan la validez del modelo propuesto para explicar la baja masa ósea en la cadera.

En cuanto a la categoría C2, se estimó un OR de 1.685 (tabla 46) ($p=0.135$) (IC 95%=0.850-3.339). Para la categoría C3 se estimó por el contrario un OR de 4.840 ($p<0.001$) (IC 95%=1.938-12.090), mostrando una relación entre la categoría C3 y el aumento en la probabilidad de baja masa ósea en la cadera. Estos resultados muestran que, dentro de las categorías de la clasificación de Klemetti L, la categoría C3 se comporta como un predictor significativo de baja masa ósea en la cadera, mientras que la categoría C2, aunque sugiere cierta tendencia, no alcanza significación estadística (tabla 46).

Tabla 46. Influencia de la clasificación de Klemetti (I) en la baja masa ósea en la cadera: Modelo de Regresión Logística

Odds ratio (Clasificación de Klemetti I) (Baja masa ósea en cadera)

	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)	
					Wald Statistic	df	p	Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	-0.788	0.270	0.455	2.924	8.548	1	0.003	0.268	0.771
KLEMETTI (I) (C2)	0.522	0.349	1.685	1.495	2.236	1	0.135	0.850	3.339
KLEMETTI (I) (C3)	1.577	0.467	4.840	3.376	11.397	1	< .001	1.938	12.090

Las métricas de rendimiento para el modelo de regresión logística que evaluaron la relación entre la clasificación de Klemetti (I) y la baja masa ósea en la cadera mostraron: una exactitud del 63.1%, AUC de 0.632, sensibilidad de 0.282, especificidad de 0.901 y una precisión del 68.8%. Del modelo en base a la clasificación de Klemetti (I) se destaca por tanto su especificidad como razonable precisión, aunque se muestra una sensibilidad relativamente baja.

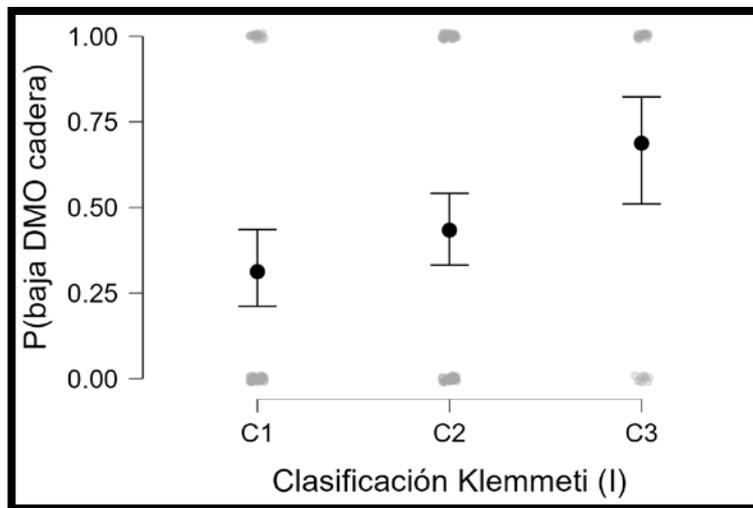


Ilustración 21. Distribución de la probabilidad de baja DMO en la cadera según la clasificación de Klemetti (I). Los puntos negros representan la probabilidad media estimada para cada categoría (C1, C2, C3), con las barras de error denotando los intervalos de confianza del 95%. Los puntos grises reflejan las observaciones individuales, proporcionando una visualización de la variabilidad dentro de cada categoría de clasificación.

La Ilustración 21 muestra un análisis de la probabilidad de baja DMO en la cadera en relación con la clasificación de Klemetti (I). Se presenta en forma de gráfico de puntos con barras de error para las tres categorías: C1, C2 y C3. Se observa que la probabilidad de baja DMO en la cadera aumenta desde C1 a C3. La categoría C1 muestra la probabilidad más baja, mientras que C3 presenta la más alta. Las barras de error indican que hay más incertidumbre en la estimación de la probabilidad en las categorías C1 y C3, en comparación con C2.

A continuación, se procedió a desarrollar otro modelo de regresión logística con el fin de evaluar la asociación entre la clasificación de Klemetti (D) y la presencia de baja masa ósea en la cadera. Igual que en los modelos anteriores se comparó un modelo de referencia (H_0), con un modelo alternativo (H_1), que incorpora como variable independiente la clasificación de Klemetti (D). El modelo H_1 mostró una mejora significativa sobre el modelo nulo, con AIC y el BIC, reportando disminuciones de 247.183 y 250.371 en el modelo H_0 a 232.169 y 241.731 en el modelo que incluye a la clasificación de Klemetti (D) como variable independiente. La validez de este modelo se confirmó mediante el cálculo del estadístico χ^2 para el modelo H_1 (19.014; p-valor<0.001). El análisis de los parámetros de bondad de ajuste mostró incrementos en todos ellos: McFadden $R^2=0.078$, Nagelkerke $R^2= 0.135$, Tjur $R^2=0.104$ y Cox & Snell $R^2=0.101$. Estos resultados indicaron que el modelo propuesto que incluyó la clasificación de Klemetti (D) proporcionó una explicación mejor de la variabilidad en la baja masa ósea en la cadera en comparación con el modelo nulo (sin variables predictoras). En conjunto, los resultados sugieren la validez de la clasificación de Klemetti (D) como un potencial predictor de la presencia de baja masa ósea en la cadera.

La influencia de la clasificación de Klemetti (D) en la probabilidad de baja masa ósea en la cadera se determinó mediante el cálculo del OR (tabla 47).

Tabla 47. Odds Ratio y Significancia Estadística de la Clasificación de Klemetti D en la Probabilidad de Baja Masa Ósea en la Cadera

Odds ratio (Clasificación de Klemetti D) (Baja masa ósea en cadera)									
	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)	
					Wald Statistic	df	p	Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	-0.965	0.240	0.381	4.023	16.187	1	< .001	0.238	0.610
KLEMETTI (D) (C2)	1.238	0.328	3.450	3.771	14.219	1	< .001	1.813	6.567
KLEMETTI (D) (C3)	1.946	0.718	7.000	2.709	7.340	1	0.007	1.713	28.607

Respecto a la clasificación C2, se estimó un OR=3.450 (IC 95%=1.813-6.567) ($p<0.001$). Este resultado implica que la categoría C2 Klemetti (D) tiene una asociación positiva y significativa con la probabilidad de baja masa ósea en la cadera en la muestra de estudio.

Para la clasificación C3, se determinó un OR de 7.0) IC 95%=1.713-28.607: $p=0.007$). En este caso para aquellos/as pacientes clasificados como C3 se observa una fuerte y significativa relación entre la clasificación de Klemetti (D) y un incremento en la probabilidad de baja masa ósea en la cadera. En conjunto estos resultados refuerzan la interpretación de que la clasificación de Klemetti (D) es un predictor significativo de la baja masa ósea en la cadera, con un aumento progresivo en la OR y por tanto del riesgo desde la categoría C2 a la C3.

Las métricas de rendimiento derivadas del modelo de regresión logística propuesto que evalúa la influencia de la clasificación de Klemetti D en la baja masa ósea en la cadera, mostraron: una exactitud del 65.4%, un AUC de 0.667, una sensibilidad de 69.2%, especificidad del 62.4% y precisión de 58.7%. En conjunto estas métricas de rendimiento del modelo propuesto para predecir la baja masa ósea en la cadera en base a la clasificación de Klemetti (D) muestran puntos fuertes en la sensibilidad con una precisión y especificidad moderadas.

La probabilidad estimada de baja DMO en la cadera a través de diferentes categorías de la clasificación de Klemetti (D) se muestra en la Ilustración 22. Se presentan las tres categorías en el eje horizontal: C1, C2 y C3 y en el eje vertical, se representa la probabilidad de baja DMO en la cadera. Se observa que la probabilidad media de baja masa ósea en la cadera y el intervalo de confianza 95% aumentan de C1 a C3, sugiriendo una relación entre la clasificación de Klemetti y la probabilidad de baja DMO en la cadera.

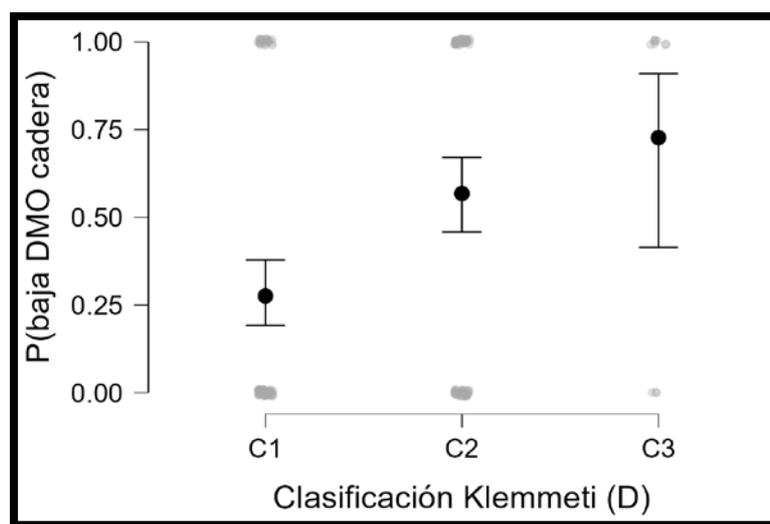


Ilustración 22. Probabilidad estimada de baja DMO en la cadera en función de la clasificación de Klemetti (D). Los puntos negros indican la probabilidad media por categoría (C1, C2, C3) con barras de error representando los intervalos de confianza del 95%. Los puntos grises muestran las observaciones individuales, proporcionando un contexto sobre la distribución de los datos

IV.9. Estudio bivalente para baja masa ósea identificación de variables predictoras y aplicación del modelo de regresión logística múltiple.

Los resultados de un análisis bivariado utilizando la prueba U de Mann-Whitney para la baja masa ósea global y diferentes variables se muestran a continuación (tabla 48). Se llevó a cabo este estudio con el fin de detectar posibles factores predictivos para ser utilizados en un posterior análisis utilizando regresión logística múltiple. Se seleccionaron

las variables cuyo valor p fuera inferior a 0,1 o tuvieran una base biológica sólida. Se encontró para la edad y para los años desde la menopausia unos valores de p extremadamente bajo ($p < 0.001$ para ambas variables), lo cual señala una diferencia estadísticamente importante entre los grupos analizados con respecto a estos predictores, siendo la edad y los años desde la menopausia mayor en las personas con baja densidad ósea total y en las mujeres con baja masa ósea respectivamente. Respecto del IMC se observa un valor p de 0.62, indicando que no hay una diferencia estadísticamente significativa en el IMC entre los grupos. Lo mismo sucede con MCW(R) y MCW(L) con valores p de 0.27 y 0.48. Estos resultados sugieren que no hay diferencias significativas entre los grupos para estas medidas al igual que con PMI(R) y PMI(L) ($p = 0.26$ y 0.16 respectivamente), que tampoco muestran diferencias significativas entre los grupos para estas variables.

Respecto del número total de ausencias de piezas dentales (R y L) no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio, pero el número de ausencias dentales (R) presentó una $p = 0.06$ de forma que se incluyó en el modelo de regresión logística al igual que el número de ausencias (L) (en este caso por plausibilidad). Si se observa una diferencia estadísticamente significativa entre los participantes con baja masa ósea y normal respecto de la DMO en la mandíbula ($p = 0.03$) indicando la existencia de una DMO mayor en la mandíbula de aquellos/as participantes con masa ósea normal. La selección de variables con un valor p menor que 0.1 para su inclusión en un análisis de regresión logística posterior se basa en la premisa de que estas variables pueden tener una influencia predictiva. En este caso, las variables “Edad”, “años desde la menopausia” y “DMO mandíbula” son las candidatas para incluir en el análisis de regresión logística, dado que sus valores p son significativamente bajos, indicando una posible asociación relevante con la variable de respuesta en el estudio.

También se analizó la relación entre el índice de Klemetti (L y R) y la presencia de baja masa ósea observándose en ambos casos la existencia de una asociación entre ambas variables en el análisis bivariado ($p < 0.001$ y $p = 0.01$ respectivamente).

Tabla 48. Comparación de Características Clínicas entre Pacientes con y sin Baja Masa Ósea Total

Variables	Baja masa ósea total	n	Perdidos	Mediana	RIQ	Min	Max	p-valor
Edad	No	76	0	54.00	8.75	20.00	78.00	<0.001
	Sí	134	0	60.00	9.00	20.00	82.00	
Años desde la menopausia*	No	67	1	4	9.42	0	55	<0.001
	Sí	131	0	10	8.98	0	40	
IMC (kg/m ²)	No	75	1	26.30	5.20	17.80	48.20	0.62
	Sí	134	0	26.10	6.25	17.60	35.90	
MCW (R)	No	59	17	4.86	1.25	3.10	7.77	0.27
	Sí	120	14	5.09	1.19	2.20	7.98	
MCW (L)	No	59	17	5.06	1.14	3.20	7.94	0.48
	Sí	120	14	4.90	1.22	2.50	7.50	
PMI (R)	No	59	17	0.33	0.11	0.23	0.58	0.26
	Sí	120	14	0.35	0.09	0.17	0.64	
PMI (L)	No	59	17	0.34	0.10	0.19	0.56	0.16
	Sí	120	14	0.36	0.09	0.20	0.68	
Ausencias dentales (R)	No	58	18	1	3	0	14	0.06
	Sí	119	15	2	4	0	14	
Ausencias dentales (L)	No	58	18	1	3	0	14	0.26
	Sí	119	15	2	3	0	14	
DMO mandíbula	No	47	29	1.05	0.44	0.68	2.93	0.03
	Sí	62	72	0.90	0.44	0.49	1.99	

Esta tabla muestra los resultados de la comparación entre pacientes con y sin baja masa ósea total utilizando el test U de Mann-Whitney. Las variables evaluadas incluyen edad, años desde la menopausia, IMC (Índice de Masa Corporal), MCW (R y L), PMI (R y L), número total de ausencias dentales (R y L) y DMO de la mandíbula. Los valores presentados son el número de casos (n), número de casos perdidos o no disponibles, la mediana y el rango intercuartílico (RIQ), así como los valores mínimos y máximos observados para cada variable. Se considerarán para el análisis mediante regresión logística múltiple aquellas variables que presenten un p-valor menor de 0.1. El p-valor reportado en la tabla indica la significancia estadística de las diferencias entre los grupos con y sin baja masa ósea total para cada variable. Un p-valor menor de 0.05 se considera estadísticamente significativo. * Solo en el grupo de mujeres

El análisis se desarrolló mediante la implementación de un modelo de regresión logística múltiple. El modelo base presentó AIC de 110.605 y un BIC de 113.024, mientras que el modelo alternativo que incluyó edad, años desde la menopausia, DMO mandibular, Klemetti y ausencias

dentales, mostró valores menores AIC (102.034) y superiores de BIC (126.22). El modelo alternativo fue estadísticamente significativo ($p=0.002$). El modelo propuesto presentó los siguientes indicadores de calidad de ajuste, incluyendo un R^2 de McFadden=0.245, un R^2 de Nagelkerke=0.375, un R^2 de Tjur=0.281 y un R^2 de Cox y Snell=0.274. Los valores obtenidos sugirieron una capacidad de explicación moderada a buena del modelo sobre la variabilidad en cuanto a baja masa ósea. Destacando entre ellos, el R^2 de Nagelkerke.

Adicionalmente se realizó un diagnóstico de la posible presencia de multicolinealidad para evaluar la independencia entre las variables incluidas en el modelo. Los resultados de este diagnóstico se realizan en base al cálculo de dos parámetros, la Tolerancia y el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables consideradas. Estos parámetros permiten comprender si existe multicolinealidad entre las variables independientes, es decir, si están correlacionadas entre sí, lo que afectaría de manera fundamental a la precisión de los coeficientes estimados en el modelo de regresión. La edad presentó una Tolerancia de 0.590 y un VIF de 1.695 sugiriendo baja multicolinealidad. La DMO en la mandíbula con una Tolerancia de 0.771 y un VIF de 1.298, también mostró signos de baja multicolinealidad, al igual que los años desde la menopausia (Tolerancia=0.670 y VIF=1.492). El índice de Klemetti (R y L) presentó Tolerancias de 0.817 y 0.700, y VIFs de 1.224 y 1.429 respectivamente, indicando niveles aceptables de multicolinealidad. Finalmente, las ausencias dentales (R y L) mostraron Tolerancias muy bajas de 0.085 y VIFs extremadamente altos de 11.827 y 11.832, respectivamente sugiriendo la presencia de multicolinealidad significativa, lo que podría afectar la interpretación y la precisión del modelo. La alta multicolinealidad puede llevar a estimaciones inestables de los coeficientes y, por lo tanto, a interpretaciones erróneas de los efectos de las variables independientes. La presencia de multicolinealidad asociada a las variables de 'Ausencias dentales R y L' recomendó un

cuidadoso análisis de los resultados y posiblemente la necesidad de implementar ajustes en el modelo de regresión.

A la vista de los resultados se decidió excluir las variables “ausencias dentales (R y L) y recalcular el modelo de regresión logística múltiple. Tras la exclusión de las variables con multicolinealidad significativa, el resumen del modelo revisado para la baja masa ósea mostró un AIC de 102.046 y un BIC de 121.493, indicando un ajuste razonable a los datos (p-valor=0.001). Las medidas de bondad de ajuste, incluyendo McFadden R^2 (0.214), Nagelkerke R^2 (0.334), Tjur R^2 (0.251) y Cox & Snell R^2 (0.244), indican ahora una capacidad moderada del modelo para explicar la variabilidad en la baja masa ósea.

Tabla 49. Odds ratio (Baja masa ósea global). Modelo de regresión logística múltiple.

	Estimate	Standard Error	Odds ratio	z	Wald Test			Intervalo de confianza al 95% (odds ratio)		
					Wald Statistic	df	p	VS-MPR*	Límite inf.	Límite sup.
(Intercept)	-5.121	2.694	0.006	-1.901	3.613	1	0.057	2.245	0.000	1.173
KLEMETTI o MIC RIGHT (C2)	0.813	0.583	2.255	1.394	1.944	1	0.163	1.243	0.719	7.073
KLEMETTI o MIC RIGHT (C3)	13.791	1690.223	975857.671	0.008	6.657e-5	1	0.993	1.000	0.000	∞
KLEMETTI o MIC LEFR (C2)	-0.120	0.609	0.887	-0.196	0.039	1	0.844	1.000	0.269	2.927
KLEMETTI o MIC LEFR (C3)	1.538	1.179	4.655	1.305	1.703	1	0.192	1.161	0.462	46.891
Edad	0.125	0.049	1.133	2.534	6.421	1	0.011	7.273	1.029	1.248
DMO mandíbula	-1.440	0.893	0.237	-1.614	2.604	1	0.107	1.541	0.041	1.362
Años desde la menopausia	-0.043	0.042	0.958	-1.030	1.060	1	0.303	1.017	0.882	1.040

* La Ratio Máxima p de Vovk-Sellke, basada en el valor p, representa las odds máximas posibles a favor de la hipótesis alternativa (H_1) sobre la hipótesis nula (H_0). Se calcula como $1/(-e^{-p \log(p)})$ para valores p menores o iguales a 0.37. Esta fórmula fue propuesta por Sellke, Bayarri y Berger en 2001 (200). Su uso permite una interpretación más intuitiva de la fuerza de la evidencia en contra de la hipótesis nula.

La tabla 49 muestra el OR y otros parámetros asociados. La edad se presentó como el único predictor significativo en el modelo de estimación de la baja masa ósea total, con un OR de 1.133 (I.C. 95% 1.029-1.248), sugiriendo un aumento moderado en la probabilidad de baja masa ósea global con el incremento de la edad. No se observan otros predictores estadísticamente significativos (p=0.011).

En cuanto a las métricas de rendimiento del modelo de regresión logística múltiple previamente discutido, el mismo muestra una precisión de 0.726, sensibilidad o tasa de verdaderos positivos de 0.833, especificidad de 0.533 y precisión de 0.763. El modelo por tanto predice la baja masa ósea global de forma correcta aproximadamente el 76% de las veces, siendo particularmente útil para entender la confiabilidad de las predicciones positivas del modelo. La visión integral de la capacidad del modelo para clasificar correctamente los casos de baja masa ósea global supone: una combinación de una sensibilidad general relativamente alta con especificidad y precisión moderadas, de forma que el modelo es generalmente eficaz, pero con ciertas limitaciones en su capacidad para diferenciar entre casos con y sin la condición.

IV. 9. 1. Estudio bivalente para baja masa ósea en la columna e identificación de variables predictoras y aplicación del modelo de regresión logística múltiple.

Al igual que para la baja masa ósea total se realizó un análisis bivariado para determinar potenciales predictores de la baja masa ósea en la columna. Se utilizó la edad, el IMC, los años desde la menopausia, MCW (R y L), PMI (R y L), ausencias dentales (R y L) y DMO para la mandíbula. Los resultados del análisis indicaron que algunas variables tuvieron valores de p estadísticamente significativos, pudiendo indicar una posible relación entre ellas y la masa ósea de la columna baja (años desde la menopausia y la edad muestran p-valores < 0.001). La variable 'Ausencias dentales R' también presenta un valor p menor a 0.1 (punto de referencia estimado para la elección de potenciales predictores para el modelo de regresión logística múltiple) (p=0.034), sugiriendo su relevancia como potencial predictor. En contraste, variables como el IMC (p=0.643), las medidas MCW R y L (p=0.344 y 0.617), PMI R y L (p=0.241 y 0.150), y 'Ausencias dentales L' (p=0.152) muestran valores p superiores a 0.1, lo que implica que, bajo los criterios preestablecidos, no

serían consideradas predictores significativos de baja masa ósea en la columna. En coherencia con el criterio predefinido, dado que se terminó un valor p de 0.084 para la DMO de la mandíbula se decidió incluir a la misma como potencial predictor en el análisis de regresión logística múltiple. El índice de Klemetti (L) no mostró asociación con la baja masa ósea en la columna ($p=0.130$) mientras que el índice de Klemetti (D) si reportó una diferencia estadísticamente significativa entre participantes con baja masa ósea en la columna y con masa ósea normal ($p=0.028$)

Se computó por tanto un modelo de regresión logística múltiple (stepwise) incluyendo las variables edad de los participantes, años desde la menopausia (mujeres), DMO en la mandíbula ausencias dentales (D) e índice de Klemetti (D). El Modelo nulo muestra un AIC de 113.556 y un BIC de 115.975. El modelo dos incluyendo las variables anteriormente reseñadas, muestra una mejora con disminuciones en el AIC y BIC a 107.210 y 112.048 respectivamente. Esta mejora es estadísticamente significativa ($p=0.004$). Las métricas de bondad de ajuste del modelo alternativo R^2 de McFadden, Nagelkerke, Tjur y Cox & Snell son respectivamente 0.075, 0.129, 0.101 y 0.096 lo cual muestra una capacidad moderada del modelo para explicar la variabilidad en la baja masa ósea en la columna.

En la tabla 50 se muestran los OR calculados para el modelo y otros estadísticos de interés. Los resultados indican que la variable 'Ausencias dentales R (cuantitativa)' con un OR de 1.016 y un valor p de 0.840, no es un predictor significativo en este modelo. Por el contrario, la 'Edad' tiene con un OR 1.094 y un valor p de 0.048 I.C. 95% de 1.001 a 1.196 se presenta como un predictor significativo de la baja masa ósea en la columna. Las variables 'Años desde la Menopausia', 'KLEMETTI (R)' (C2 y C3) y 'DMO mandíbula' presentan valores p que no indican significancia estadística.

Tabla 50. Odds ratio (Baja masa ósea en la columna). Modelo de regresión logística múltiple.

	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			VS-MPR*	95% Confidence interval (odds ratio scale)	
					Wald Statistic	df	p		Lower bound	Upper bound
(Intercept)	-3.971	2.460	0.019	-1.614	2.606	1	0.106	1.543	0.000	2.341
Ausencias dentales R (cuantitativa)	0.015	0.076	1.016	0.202	0.041	1	0.840	1.000	0.874	1.179
Edad	0.090	0.045	1.094	1.979	3.915	1	0.048	2.529	1.001	1.196
Años desde la Menopausia	-0.034	0.038	0.967	-0.877	0.769	1	0.381	1.000	0.897	1.042
KLEMETTI o MIC RIGHT (C2)	0.575	0.513	1.777	1.121	1.257	1	0.262	1.048	0.650	4.853
KLEMETTI o MIC RIGHT (C3)	15.711	1690.830	6.654e+6	0.009	8.634e-5	1	0.993	1.000	0.000	∞
DMO mandíbula	-0.776	0.724	0.460	-1.071	1.147	1	0.284	1.029	0.111	1.904

** La Ratio Máxima p de Vovk-Sellke, basada en el valor p, representa las odds máximas posibles a favor de la hipótesis alternativa (H_1) sobre la hipótesis nula (H_0). Se calcula como $1/(-e^{-p \log(p)})$ para valores p menores o iguales a 0.37. Esta fórmula fue propuesta por Sellke, Bayarri y Berger en 2001 (200). Su uso permite una interpretación más intuitiva de la fuerza de la evidencia en contra de la hipótesis nula.

El análisis de multicolinealidad mostró que, en general, las variables del modelo no presentan problemas significativos, con valores de Tolerancia relativamente altos y VIF dentro de rangos aceptables, sugiriendo que cada variable aporta información única al modelo sin estar excesivamente correlacionada con las demás.

Respecto de las métricas de rendimiento del modelo la precisión del mismo fue de 0.699, sensibilidad de 0.820, especificidad de 0.515 y precisión de 0.719. El modelo propuesto predice un caso como positivo de forma correcta aproximadamente el 72% de las veces. Estas métricas ofrecen una visión integral fundamentada en: una combinación de una precisión general aceptable con una alta sensibilidad y una precisión moderada sugiriendo que el modelo es efectivo en la identificación de casos positivos, pero tiene limitaciones en la identificación precisa de casos negativos. En cualquier caso, ninguna de las variables derivadas de la salud odontológica de los participantes fue incluida en el modelo.

IV. 9. 2. Estudio bivalente para baja masa ósea en la cadera e identificación de variables predictoras y aplicación del modelo de regresión logística múltiple.

Se utilizó la misma sistemática que en los casos precedentes para la identificación de potenciales predictores de baja masa ósea en la cadera. Variables como MCW (R), PMI (R), Ausencias dentales (R), PMI (L) y

Ausencias dentales (L) muestran valores p superiores a 0.1. Esto indica que, según el criterio preestablecido estas variables no muestran una asociación de interés la baja masa ósea en la cadera y, por tanto, no serían consideradas para el análisis posterior mediante regresión logística múltiple. La variable MCW (L) tiene un valor p justo en el límite del criterio establecido ($p = 0.103$), sugiriendo una posible asociación con la baja masa ósea en la cadera y por tanto será incluida en el análisis de regresión logística múltiple junto con Edad, Años desde la Menopausia y DMO mandíbula variables que presentan valores de p menores a 0.01. Estas variables, por lo tanto, se considerarían como potenciales predictores significativos y serían incluidas en el análisis posterior de regresión logística múltiple al igual que el índice de Klemetti (R) ($p < 0.001$) y (L) ($p = 0.002$). El análisis de multicolinealidad indicó que Klemetti (L) muestra una tolerancia significativamente baja de 0.109 y un VIF muy alto de 9.202. Esto indica una multicolinealidad bastante elevada, lo que podría ser problemático para el análisis. De la misma manera Klemetti (R) presenta una tolerancia extremadamente baja de 8.216×10^{-8} y un VIF extraordinariamente alto de 1.217×10^7 . Estos valores sugieren una multicolinealidad extremadamente alta, lo que es problemático para la fiabilidad del modelo. En base a estos resultados se decide sacar ambas variables del modelo.

El modelo nulo mostró AIC y BIC que disminuyeron de manera notable en el modelo alternativo (AIC de 116.104 a 101.323 y BIC de 118.535 a 113.477), sugiriendo una mejora en la calidad del modelo. En esta línea el modelo alternativo fue estadísticamente significativo (Chi-cuadrado (22.781 con un p -valor < 0.001). Los coeficientes de determinación estimados, que incluyeron McFadden R^2 (0.200), Nagelkerke R^2 (0.320), Tjur R^2 (0.262) y Cox & Snell R^2 (0.238), indicaron que una proporción moderada de la variabilidad en la masa ósea baja en la cadera podría ser explicada por el modelo. En cuanto a los coeficientes y OR derivados del modelo (tabla 51), la constante, mostró una relación

significativa con la baja masa ósea en la cadera (p-valor=0.039). La variable edad mostró una relación positiva significativa con la masa ósea baja en la cadera (p-valor=0.002) y un IC 95% para el OR de (1.066 a 1.326) confirmando la asociación estadísticamente significativa. En cuanto a los años de menopausia, MCW (L) y la DMO mandíbula presentaron en todos los casos p-valores >0.05 y no fueron incluidas en el modelo, aunque en el caso de la DMO en la mandíbula cerca del umbral de significación estadística (p-valor=0.078).

Respecto de las métricas de rendimiento del modelo propuesto, la precisión de este reportó un 0.762, la sensibilidad (tasa de verdaderos positivos) de 0.714, la especificidad de 0.796 y la precisión de 0.714.

Tabla 51. Odds ratio (Baja masa ósea en la cadera). Modelo de regresión logística múltiple.

	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	z	Wald Test			95% Confidence interval (odds ratio scale)		
					Wald Statistic	df	p	VS-MPR*	Lower bound	Upper bound
(Intercept)	-6.457	3.125	0.002	-2.066	4.270	1	0.039	2.918	0.000	0.717
Edad	0.173	0.056	1.189	3.098	9.595	1	0.002	30.218	1.066	1.326
Años desde la Menopausia	-0.028	0.042	0.972	-0.676	0.458	1	0.499	1.000	0.896	1.055
MCW (L)	-0.455	0.289	0.634	-1.576	2.483	1	0.115	1.478	0.360	1.117
DMO mandíbula	-1.489	0.844	0.226	-1.765	3.114	1	0.078	1.854	0.043	1.179

* La Ratio Máxima p de Vovk-Sellke, basada en el valor p, representa las odds máximas posibles a favor de la hipótesis alternativa (H₁) sobre la hipótesis nula (H₀). Se calcula como 1/(-e p log(p)) para valores p menores o iguales a 0.37. Esta fórmula fue propuesta por Sellke, Bayarri y Berger en 2001 (CITA). Su uso permite una interpretación más intuitiva de la fuerza de la evidencia en contra de la hipótesis nula.

Un aspecto destacado de este modelo es el área bajo la curva ROC (AUC) con un valor de 0.809. Este valor sugiere que el modelo tiene una capacidad notable para distinguir entre individuos con y sin baja masa ósea en la cadera, lo que es fundamental para un diagnóstico efectivo y preciso.

La Ilustración 23 muestra la curva ROC asociada al modelo.

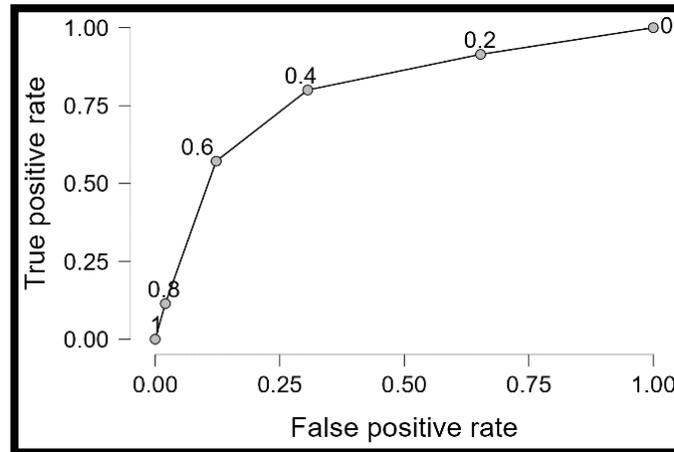


Ilustración 23. Curva ROC del Modelo de Regresión Logística para la Predicción de Masa Ósea Baja en la Cadera

La tasa de falsos positivos indica la frecuencia con la que el modelo confunde negativos con positivos. La Tasa de Verdaderos Positivos nos permite saber con qué frecuencia el modelo señala correctamente los verdaderos positivos (presencia real de baja masa ósea en la cadera). La curva ROC representa (Ilustración 23) diferentes puntos de corte y se puede observar que se dirige rápidamente hacia la parte superior del gráfico, lo que indicaría que el modelo propuesto es bueno identificando verdaderos positivos y manteniendo bajos los falsos positivos.

IV. 10. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las curvas Características Operativas del Receptor (ROC) para evaluar la eficacia predictiva de la DMO en la mandíbula para la

identificación de la presencia de baja masa ósea en la columna y la cadera. La curva ROC es una herramienta fundamental para discernir la capacidad de un predictor, en este caso la DMO mandibular, para distinguir entre estados de salud y enfermedad, en este caso la presencia o ausencia de baja masa ósea. Además, se efectuó un análisis adicional con el objetivo de establecer cuál es el umbral ideal del DMO en la mandíbula para obtener una mayor sensibilidad y especificidad en el diagnóstico.

IV. 10. 1. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.

La tabla 52 proporcionada presenta datos significativos asociados con la curva ROC y su aplicación en la medición de la DMO en la mandíbula y el riesgo de baja masa ósea (columna o cadera). La curva evaluó la capacidad de la determinación de DMO en la mandíbula para distinguir entre dos condiciones; en este caso “presencia de baja masa ósea en columna o cadera” y “normalidad en DMO en columna y cadera”. La tabla incluye varios puntos de corte (*cutpoints*) con sus correspondientes sensibilidades, especificidad, valor predictivo positivo (PPV), valor predictivo negativo (NPV), índice de Youden y área bajo la curva (AUC). El índice de Youden se utilizó para seleccionar el punto de corte óptimo en la curva ROC, permitiendo en este caso determinar la DMO en la mandíbula que maximiza el balance entre sensibilidad y la especificidad. A partir de los datos mostrados en la tabla 52 se puede identificar que el punto de corte con el mayor índice de Youden corresponde con una DMO en la mandíbula de 0.8711 gr/cm², correspondiéndole un valor de 0.267. Para este índice de Youden se reportó la existencia de una sensibilidad del 51.32% y una especificidad del 75.37%. Se debe reconocer que la sensibilidad no es excepcionalmente alta pero que la especificidad es

relativamente fuerte. En conjunto este punto de corte vendría a indicar que la determinación de la DMO en la mandíbula es eficaz en la identificación de individuos sanos. El valor predictivo positivo (PPV) de este punto de corte fue de 54.17%, y el valor predictivo negativo (NPV) fue de 73.19%, reflejando la probabilidad de que los resultados positivos (baja masa ósea) y negativos (masa ósea normal) de la prueba sean verdaderos. Finalmente, la AUC (Ilustración 24) de 0.613 confirma una precisión moderada de la prueba para diferenciar entre los estados de baja masa ósea y normalidad en nuestro estudio.

Tabla 52. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en columna o cadera: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos

Variable: **DMO mandíbula**

Cutpoint	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC
0.7068	60.53%	61.19%	46.94%	73.21%	0.217	0.613
0.7872	53.95%	67.91%	48.81%	72.22%	0.219	0.613
0.791	53.95%	68.66%	49.4%	72.44%	0.226	0.613
0.7929	53.95%	69.4%	50%	72.66%	0.234	0.613
0.815	53.95%	70.15%	50.62%	72.87%	0.241	0.613
0.8287	53.95%	70.9%	51.25%	73.08%	0.248	0.613
0.83	52.63%	70.9%	50.63%	72.52%	0.235	0.613
0.8354	52.63%	71.64%	51.28%	72.73%	0.243	0.613
0.8399	51.32%	71.64%	50.65%	72.18%	0.230	0.613
0.8432	51.32%	72.39%	51.32%	72.39%	0.237	0.613
0.8455	51.32%	73.13%	52%	72.59%	0.245	0.613
0.8475	51.32%	73.88%	52.7%	72.79%	0.252	0.613
0.8638	51.32%	74.63%	53.42%	72.99%	0.259	0.613
0.8711	51.32%	75.37%	54.17%	73.19%	0.267	0.613
0.8769	50%	75.37%	53.52%	72.66%	0.254	0.613
0.8772	48.68%	75.37%	52.86%	72.14%	0.241	0.613
0.8804	47.37%	75.37%	52.17%	71.63%	0.227	0.613
0.8873	47.37%	76.12%	52.94%	71.83%	0.235	0.613
0.8898	46.05%	76.12%	52.24%	71.33%	0.222	0.613

La tabla proporcionada ofrece datos clave relacionados con la curva ROC. Predice las probabilidades de tener una masa ósea baja en la columna vertebral o la cadera. La tabla muestra diferentes puntos de corte. Además, muestra la sensibilidad, la

especificidad, el valor predictivo positivo (VPP), valor predictivo negativo (VPN), el índice de Youden (el punto que maximiza está marcado en rojo) y el AUC.

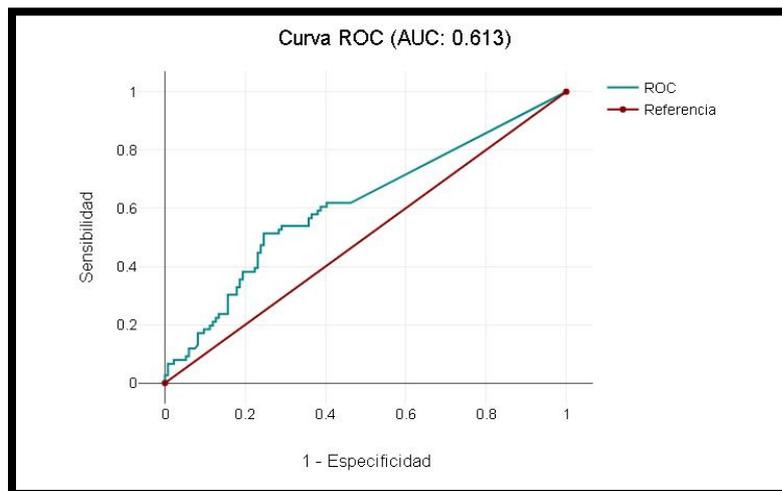


Ilustración 24. Gráfico de la Curva Característica Operativa del Receptor (ROC) para la DMO en la mandíbula. El Área Bajo la Curva (AUC) de 0.613 refleja una capacidad diagnóstica moderada. La curva azul oscuro muestra el rendimiento del test, y la línea diagonal roja sirve como línea de referencia para una prueba que no tuviera capacidad discriminativa.

IV. 10. 1. 1. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea en mujeres: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.

En cuanto a los resultados reportados en las mujeres (tabla 53), los coeficientes de sensibilidad tienden a ser ligeramente superiores en los *cutpoints* menores en comparación con la muestra global (por ejemplo, en el grupo de mujeres (0.6586) posee una sensibilidad del 63.24%, mientras que el *cutpoint* menor en la totalidad de la muestra (0.7068) detenta una sensibilidad del 60.53%), insinuando que la osteodensitometría mandibular podría ser ligeramente más eficaz para revelar la baja masa ósea en mujeres en estos estratos de corte. Paralelamente la especificidad es similar en términos globales, indicando que esta no varía en el colectivo femenino respecto del total. El coeficiente de Youden, que permite determinar la óptima armonía entre sensibilidad y especificidad, en el grupo global es de 0.257 (corte de 0.8638), mientras que, en las mujeres,

el cénit es 0.265, conseguido con el *cutpoint* de 0.8769, señalando que, aunque los puntos de corte idóneas son análogos, podrían existir divergencias tenues en la armonía entre sensibilidad y especificidad. Finalmente, el examen en el conjunto femenino exhibe un ascenso leve en el AUC (0.620) en comparación con la muestra general, señalando que la prueba (osteodensitometría mandibular) operaría mejor en este subconjunto respecto al grupo general en la distinción de situaciones de baja masa ósea.

Tabla 53. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en columna o cadera en mujeres: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos

Variable: DMO mandíbula (mujeres)

Cutpoint	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC
0.6586	63.24%	58.33%	43.88%	75.49%	0.216	0.620
0.6731	63.24%	59.09%	44.33%	75.73%	0.223	0.620
0.6831	63.24%	59.85%	44.79%	75.96%	0.231	0.620
0.6861	61.76%	59.85%	44.21%	75.24%	0.216	0.620
0.6947	61.76%	60.61%	44.68%	75.47%	0.224	0.620
0.7068	61.76%	61.36%	45.16%	75.7%	0.231	0.620
0.7127	60.29%	61.36%	44.57%	75%	0.217	0.620
0.7163	60.29%	62.12%	45.05%	75.23%	0.224	0.620
0.7251	58.82%	62.88%	44.94%	74.77%	0.217	0.620
0.7255	58.82%	63.64%	45.45%	75%	0.225	0.620
0.7388	57.35%	64.39%	45.35%	74.56%	0.217	0.620
0.7766	54.41%	67.42%	46.25%	74.17%	0.218	0.620
0.7872	54.41%	68.18%	46.84%	74.38%	0.226	0.620
0.791	54.41%	68.94%	47.44%	74.59%	0.234	0.620
0.7929	54.41%	69.7%	48.05%	74.8%	0.241	0.620
0.815	54.41%	70.45%	48.68%	75%	0.249	0.620
0.8287	54.41%	71.21%	49.33%	75.2%	0.256	0.620
0.83	52.94%	71.21%	48.65%	74.6%	0.242	0.620
0.8354	52.94%	71.97%	49.32%	74.8%	0.249	0.620
0.8432	51.47%	71.97%	48.61%	74.22%	0.234	0.620
0.8455	51.47%	72.73%	49.3%	74.42%	0.242	0.620
0.8475	51.47%	73.48%	50%	74.62%	0.250	0.620
0.8638	51.47%	74.24%	50.72%	74.81%	0.257	0.620

Variable: DMO mandíbula (mujeres)

Cutpoint	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC
0.8769	51.47%	75%	51.47%	75%	0.265	0.620
0.8772	50%	75%	50.75%	74.44%	0.250	0.620
0.8804	48.53%	75%	50%	73.88%	0.235	0.620
0.8898	48.53%	75.76%	50.77%	74.07%	0.243	0.620
0.8924	47.06%	75.76%	50%	73.53%	0.228	0.620
0.9019	47.06%	76.52%	50.79%	73.72%	0.236	0.620
0.9116	45.59%	76.52%	50%	73.19%	0.221	0.620

La tabla proporcionada ofrece datos clave relacionados con la curva ROC. Predice las probabilidades de tener una masa ósea baja en la columna vertebral o la cadera. La tabla muestra diferentes puntos de corte. Además, muestra la sensibilidad, la especificidad, el valor predictivo positivo (VPP), valor predictivo negativo (VPN), el índice de Youden (el punto que maximiza está marcado en rojo) y el AUC.

IV. 10. 2. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea en la columna: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.

Luego se estableció mediante la configuración de la respectiva curva ROC la capacidad de la valoración de la DMO en el maxilar para diagnosticar la presencia de baja masa ósea en la columna dorsal de los/las partícipes (tabla 54). Al evaluar los umbrales de corte más bajos, como el de 0.6831, hallamos una sensibilidad relativamente alta (56.82%). Esto vendría a señalar que el ensayo es capaz de identificar con acierto a una proporción significativa de individuos con baja masa ósea en la espina dorsal. No obstante, a medida que el umbral de corte se incrementa, la sensibilidad se reduce, alcanzando un 39.77% en el punto 0.9019. Esta disminución implica que, en límites más elevados, la valoración de DMO en la mandíbula pierde aptitud para descubrir a aquellos partícipes realmente afectados por baja masa ósea en la columna lumbar. De forma paralela, la especificidad exhibe un desarrollo inverso.

Se acrecienta de manera paulatina con la elevación de los límites de corte, pasando de un 58.2% (0.6831) a un 75.41% (0.9019), sugiriendo que, conforme se incrementa el margen de decisión, el análisis se torna más eficiente en excluir a las personas sanas, atenuando los positivos erróneos. El coeficiente de Youden para un cutpoint de corte de 0.8711 perfecciona la sensibilidad y exactitud (45.45% y 73.77% respectivamente). El índice de Youden para un umbral de corte de 0.8711 optimiza la sensibilidad y especificidad (45.45% y 73.77% respectivamente). Finalmente, el AUC de 0.569 indicaría que el ensayo, al valorar únicamente su aptitud para descubrir baja masa ósea en la columna dorsal, es inferior al examen conjunto de baja masa ósea (columna dorsal+cadera).

Tabla 54. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en columna: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos

Variable: DMO mandíbula

Cutpoint	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC
0.6831	56.82%	58.2%	49.5%	65.14%	0.150	0.569
0.6947	55.68%	59.02%	49.49%	64.86%	0.147	0.569
0.7929	47.73%	67.21%	51.22%	64.06%	0.149	0.569
0.815	47.73%	68.03%	51.85%	64.34%	0.158	0.569
0.8287	47.73%	68.85%	52.5%	64.62%	0.166	0.569
0.83	46.59%	68.85%	51.9%	64.12%	0.154	0.569
0.8354	46.59%	69.67%	52.56%	64.39%	0.163	0.569
0.8399	45.45%	69.67%	51.95%	63.91%	0.151	0.569
0.8432	45.45%	70.49%	52.63%	64.18%	0.159	0.569
0.8455	45.45%	71.31%	53.33%	64.44%	0.168	0.569
0.8475	45.45%	72.13%	54.05%	64.71%	0.176	0.569
0.8638	45.45%	72.95%	54.79%	64.96%	0.184	0.569
0.8711	45.45%	73.77%	55.56%	65.22%	0.192	0.569
0.8769	44.32%	73.77%	54.93%	64.75%	0.181	0.569
0.8772	43.18%	73.77%	54.29%	64.29%	0.170	0.569
0.8804	42.05%	73.77%	53.62%	63.83%	0.158	0.569
0.8873	42.05%	74.59%	54.41%	64.08%	0.166	0.569
0.8898	40.91%	74.59%	53.73%	63.64%	0.155	0.569

Variable: DMO mandíbula

Cutpoint	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC
0.8924	39.77%	74.59%	53.03%	63.19%	0.144	0.569
0.9019	39.77%	75.41%	53.85%	63.45%	0.152	0.569

La tabla proporcionada ofrece datos clave relacionados con la curva ROC. Predice las probabilidades de tener una masa ósea baja en la columna vertebral o la cadera. La tabla muestra diferentes puntos de corte. Además, muestra la sensibilidad, la especificidad, el valor predictivo positivo (VPP), valor predictivo negativo (VPN), el índice de Youden (el punto que maximiza está marcado en rojo) y el AUC.

IV. 10. 3. Evaluación Predictiva de la Densidad Mineral Ósea Mandibular para la Determinación de Riesgo de Baja Masa Ósea en la cadera: Análisis de Curvas ROC y Establecimiento del Punto de Corte Óptimo.

La tabla 55 expone los resultados correspondientes a la curva ROC para el diagnóstico de baja masa ósea en la pelvis en función de la valoración de la DMO en el maxilar. La tabla despliega una serie de límites de corte para la DMO mandibular, que se extienden desde 0.6947 hasta 0.8804, y cada uno de ellos se acompaña de una variedad de coeficientes claves en el diagnóstico y la evaluación. Respecto a la sensibilidad, los valores fluctúan a lo largo de la tabla, iniciando en un 53.97% en el límite menor y decreciendo paulatinamente a medida que el punto de corte se acrecienta, alcanzando un 39.68% en el extremo superior de la escala. De forma paralela, la especificidad también varía, empezando en un 63.1% y se incrementa de manera progresiva, alcanzando un 77.38% en los puntos de corte más elevados. Esto señala una mejora en la aptitud de la valoración de la DMO en el maxilar para excluir acertadamente a aquellos sin la afección conforme el límite de corte se aumenta. El coeficiente de Youden establece el punto de corte para la DMO en el maxilar que maximiza la sensibilidad y especificidad de la prueba en 0.7766 con

49.21% y 72.62% para sensibilidad y especificidad respectivamente. El AUC es de 0.585 y en el contexto de esta prueba específica indicaría un desempeño moderado de la misma, con una utilidad clínica limitada y en cualquier caso inferior a la obtenida en la valoración conjunta de cadera + columna vertebral.

Tabla 55. Análisis de Rendimiento Diagnóstico de la DMÓ Mandibular para la detección de baja masa ósea en cadera: Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos

Variable: DMO mandíbula

Cutpoint	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC	Metric Score
0.6947	53.97%	63.1%	68.69%	47.75%	0.171	0.585	1.17
0.7068	53.97%	64.29%	69.39%	48.21%	0.183	0.585	1.18
0.7127	53.17%	64.29%	69.07%	47.79%	0.175	0.585	1.17
0.7163	53.17%	65.48%	69.79%	48.25%	0.187	0.585	1.19
0.718	52.38%	65.48%	69.47%	47.83%	0.179	0.585	1.18
0.7251	52.38%	66.67%	70.21%	48.28%	0.190	0.585	1.19
0.7255	52.38%	67.86%	70.97%	48.72%	0.202	0.585	1.20
0.7387	51.59%	67.86%	70.65%	48.31%	0.194	0.585	1.19
0.7388	50.79%	67.86%	70.33%	47.9%	0.187	0.585	1.19
0.7389	50%	67.86%	70%	47.5%	0.179	0.585	1.18
0.7398	49.21%	67.86%	69.66%	47.11%	0.171	0.585	1.17
0.7434	49.21%	69.05%	70.45%	47.54%	0.183	0.585	1.18
0.7638	49.21%	70.24%	71.26%	47.97%	0.194	0.585	1.19
0.7763	49.21%	71.43%	72.09%	48.39%	0.206	0.585	1.21
0.7766	49.21%	72.62%	72.94%	48.8%	0.218	0.585	1.22
0.7872	48.41%	72.62%	72.62%	48.41%	0.210	0.585	1.21
0.791	47.62%	72.62%	72.29%	48.03%	0.202	0.585	1.20
0.7929	46.83%	72.62%	71.95%	47.66%	0.194	0.585	1.19
0.815	46.83%	73.81%	72.84%	48.06%	0.206	0.585	1.21
0.8287	46.03%	73.81%	72.5%	47.69%	0.198	0.585	1.20
0.83	45.24%	73.81%	72.15%	47.33%	0.190	0.585	1.19
0.8354	45.24%	75%	73.08%	47.73%	0.202	0.585	1.20
0.8399	44.44%	75%	72.73%	47.37%	0.194	0.585	1.19
0.8432	43.65%	75%	72.37%	47.01%	0.187	0.585	1.19
0.8455	43.65%	76.19%	73.33%	47.41%	0.198	0.585	1.20
0.8475	42.86%	76.19%	72.97%	47.06%	0.190	0.585	1.19
0.8638	42.86%	77.38%	73.97%	47.45%	0.202	0.585	1.20
0.8711	42.06%	77.38%	73.61%	47.1%	0.194	0.585	1.19
0.8769	41.27%	77.38%	73.24%	46.76%	0.187	0.585	1.19
0.8772	40.48%	77.38%	72.86%	46.43%	0.179	0.585	1.18

Variable: DMO mandíbula

Cutpoint	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC	Metric Score
0.8804	39.68%	77.38%	72.46%	46.1%	0.171	0.585	1.17

La tabla proporcionada ofrece datos clave relacionados con la curva ROC. Predice las probabilidades de tener una masa ósea baja en la columna vertebral o la cadera. La tabla muestra diferentes puntos de corte. Además, muestra la sensibilidad, la especificidad, el valor predictivo positivo (VPP), valor predictivo negativo (VPN), el índice de Youden (el punto que maximiza está marcado en rojo) y el AUC.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Desde una perspectiva odontológica, es imprescindible considerar los efectos adversos que puede tener la osteoporosis en diversos aspectos vinculados a los dientes y las encías. Esto abarca tanto problemas estructurales como enfermedades periodontales, pudiendo incluso llevar a la pérdida de piezas dentarias. El debilitamiento óseo en esta enfermedad sistémica del esqueleto provoca un aumento importante en la predisposición a sufrir fracturas (201). Cabe mencionar igualmente que se debe resaltar cómo afecta al campo odontológico tanto el tratamiento clínico destinado a personas con osteoporosis como tomar bifosfonatos durante un periodo extenso, puesto que hay una relación existente entre dichos medicamentos y los incidentes reportados sobre necrosis ósea localizada en la mandíbula inferior (202). Es imposible pasar por alto la significativa influencia que tienen ciertos medicamentos usados para tratar a pacientes con osteoporosis, como los bifosfonatos o las terapias hormonales. Resulta esencial resaltar e impulsar una visión completa y multidisciplinar orientada a mejorar todas las áreas relacionadas con esa enfermedad. La presencia y cooperación de odontólogos y otros expertos en salud son imprescindibles para ofrecer la mejor atención posible a aquellos que confían en nosotros. (201).

Durante el desarrollo de esta tesis doctoral se utilizaron diferentes herramientas densitométricas para examinar las conexiones existentes entre diferentes parámetros dentales y la DMO. Concretamente, se utilizaron técnicas modernas como ultrasonido cuantitativo del calcáneo, p-QCT y DXA. Estas técnicas permiten obtener un panorama completo sobre el estado de los huesos y permitirnos estudiar por tanto cómo se relacionaría con la salud bucal. Es importante mencionar que el QUS se destaca por ser un método de detección conveniente y muy popular cuando se trata de diagnosticar trastornos relacionados a la osteoporosis. Su utilidad radica en su asociación significativa a nivel de DMO determinada mediante DXA cómo a nivel microestructural del hueso e indicadores mecánicos correspondientes. El QUS no solo es efectivo

detectar casos positivos de osteoporosis si no también en la predicción de fracturas futuras, así como para la evaluación de parámetros relacionados con la calidad ósea (180,203). Mediante la clasificación morfológica del hueso cortical mandibular a partir de radiografías panorámicas y utilizando el Índice Cortical Mandibular (MCI) según Klemetti et al., se pueden evaluar los cambios morfológicos en la corteza inferior de la mandíbula, lo que permite un análisis detallado de las formas corticales mandibulares y su relación con la salud ósea general determinada mediante QUS. De forma breve, en este trabajo de tesis doctoral hemos observado que UBV (m/s), UBPI (s) y BTT (s) derivados del QUS de calcáneo presentan diferencias a la hora de analizar las categorías de la clasificación de Klemetti tanto en el lado derecho como en el lado izquierdo de la mandíbula. Respecto de UBV (m/s), reportamos diferencias significativas entre las categorías C1, C2 y C3 de la clasificación de Klemetti D, específicamente entre C1 y C2, así como entre C1 y C3, no observándose en las comparaciones entre C2 y C3. De forma similar, BTT también mostró diferencias reseñables entre las categorías de Klemetti D. Comparando C1 y C2, y C1 y C3 se arrojaron diferencias estadísticamente significativas, pero lo mismo no pudo corroborarse entre C2 y C3. UBPI mostró resultados similares; diferencias estadísticamente significativas entre C1 y C2 y C1 y C3, pero negativas entre C2 y C3. Más o menos semejantes fueron los resultados que se reportaron respecto de Klemetti en el lado izquierdo; UBV (m/s) muestra diferencias entre C1 y C2, y C1 y C3 y ausencia entre C2 y C3. En cuanto a BTT, no observan entre C1 y C2, pero sí entre C1 y C3, y nuevamente ausencia entre C2 y C3. Finalmente, para UBPI en el lado izquierdo, C1 vs C2, y C1 vs C3 mostraron diferencias, pero no se reportaron para C2 vs C3. Nuestros resultados por tanto revelan variaciones en los parámetros UBV, BTT y UBPI en relación con la clasificación de Klemetti, mostrando diferencias significativas en ciertas comparaciones, mientras que en otras se observa una notable similitud entre los grupos estudiados. En todos los

casos a medida que empeora la salud odontológica se observa una disminución en los parámetros asociados al QUS de calcáneo lo cual indica una plausibilidad biológica del resultado observado. Las variaciones en los parámetros UBV, BTT y UBPI en relación con la clasificación de Klemetti confirmarían que esta tiene implicaciones significativas en el diagnóstico de osteoporosis y la identificación del riesgo de fracturas. El QUS se ha demostrado útil para descartar baja DMO en diferentes patologías. Además, se ha establecido una asociación entre QUS y la presencia de fracturas vertebrales osteoporóticas. Diferentes estudios han evidenciado que las mediciones por QUS pueden diferenciar entre pacientes con y sin fracturas por fragilidad, y también predecir fracturas patológicas (204). La presencia de variaciones notables en los valores registros para UBV, BTT y UBPI en función de la clasificación de Klemetti sugiere su capacidad para detectar alteraciones en términos de la densidad ósea sistémica. El uso conjunto de ambas técnicas QUS y clasificación de Klemetti, permitiría elevar significativamente el nivel de precisión al momento de evaluar el peligro asociado al riesgo de fracturas y osteoporosis. En el caso de pacientes con riesgos específicos relacionados a la salud ósea y dental, esta aproximación multidisciplinaria sería útil para desarrollar estrategias de diagnóstico y prevención más efectivas.

Nuestro enfoque de estudio es semejante al reportada por Grocholewicz et al., (205) solo que ellos utilizaron QUS de falange en lugar de QUS a nivel del calcáneo como el que reportamos en este trabajo de tesis doctoral. Lo cierto es que la literatura es escasa en cuanto a la utilización de QUS de calcáneo y el establecimiento de relaciones con la salud dental, siendo este probablemente uno de los primeros estudios a nivel nacional e internacional que reporta las asociaciones entre los parámetros derivados de QUS del calcáneo e índices mandibulares obtenidos a partir de radiografías panorámicas y con el soporte de otros procedimientos densitométricos óseos. Grocholewicz et al., evaluaron la

utilidad de diversos índices mandibulares y QUS para la detección de osteoporosis en mujeres postmenopáusicas. Utilizando radiografías panorámicas, analizaron diferentes medidas mandibulares, y establecieron los índices PMI, MCW y el MCI entre otros. Su estudio presenta una muestra menor que la utilizada en nuestro trabajo involucrando a 97 mujeres postmenopáusicas con un rango de edad de 48.5 a 71.5 años, así como la determinación QUS en el radio y la falange proximal del tercer dedo, distinta de la reportada por nosotros en el calcáneo. Sus resultados muestran que el MCI muestra una correlación significativa con QUS de falange ($r=-0.22$; $p<0.05$). Este resultado es compatible con el obtenido por nuestro grupo en QUS de calcáneo. No se encuentra correlación entre el T-score de la falange y PMI o MCW. Según los autores, queda demostrado que MCI es un índice prometedor como un instrumento útil para detectar osteoporosis, lo cual es, como hemos indicado, consistente con nuestros resultados. Además, se afirma con firmeza que utilizar ecografía cuantitativa en el tercer dedo es un medio confiable y preciso para evaluar condiciones óseas. En línea con estudios previos, nuestros hallazgos también respaldan la evidencia existente sobre la escasa utilidad del PMI para detectar osteoporosis cuando se compara con medidas alternativas como el MCI o MCW. A pesar de que algunos autores han hallado conexiones (poco importantes) entre el PMI y la BMD (206) está claro que, en términos de detección precisa de pacientes con osteoporosis, sería recomendable utilizar el índice MCI ((207) tal y como hemos podido confirmar en nuestro estudio.

Los avances en la odontología han permitido emplear tecnologías con éxito para mejorar tanto el diagnóstico como el tratamiento de diferentes condiciones. Se destaca el uso del QUS en diferentes áreas corporales como una herramienta prometedora, que no solo permite evaluar la estabilidad de los implantes dentales, sino también diagnosticar osteoporosis. La utilización del QUS junto al análisis de frecuencia de resonancia (AFR) ha mostrado ser un procedimiento exitoso para evaluar

la estabilidad de los implantes dentales. De acuerdo con lo observado en un experimento *in vivo* realizado por Hériveaux et al., el QUS sería incluso más útil que el AFR ya que existe una correlación mucho mayor entre los valores del primero y la proporción de hueso-implante (BIC). Según esta correlación, se plantea que el QUS ofrecería una estimación más precisa de la estabilidad del implante dental (208). Profundizando en las posibles utilidades adicionales del QUS más allá del diagnóstico de la salud ósea, se utilizó QUS de transmisión axial en la investigación llevada a cabo por Beattie et al. con el fin de evaluar la fuerza ósea mandibular. Los autores enfatizan la precisión y confiabilidad obtenida al medir el QUS en diferentes sitios anatómicos dentro del área maxilar, demostrando así su capacidad para distinguir sujetos con osteoporosis del grupo control. El poder que tiene el QUS de la mandíbula como medio diagnóstico para identificar casos de osteoporosis se hace patente en este estudio (209).

Para identificar las personas que son candidatas ideales para realizar un DXA, el QUS de calcáneo se presenta como una herramienta muy eficaz (210). Existe una amplia cantidad de investigaciones que respaldan la correlación entre el uso del QUS en el calcáneo y la DMO y T-scores obtenidos mediante DXA. En términos generales, esta relación muestra una relevancia notable. No obstante, continúa siendo inviable emplear correctamente este método para confirmar diagnósticos concretamente relacionados con problemáticas óseas asociadas a enfermedades como la osteoporosis (no puede utilizarse como una alternativa al DXA que actualmente es considerado el patrón supremo para diagnosticar osteoporosis). Detectar la osteoporosis utilizando el QUS del calcáneo como herramienta diagnóstica se ve obstaculizado por los resultados variados que arrojan los estudios disponibles. Igualmente, no se ha establecido unanimidad acerca del tipo concreto de aparato a emplear ni respecto a las variables que deben ser tomadas en cuenta ni cuáles son los puntos óptimos (*cut-points*) para determinar si un caso es positivo. A pesar de los beneficios potenciales del QUS del calcáneo, aún

se requiere más investigación antes de poder determinar un umbral específico que pueda proporcionarnos seguridad al diagnosticar osteoporosis. En consecuencia, es imprescindible utilizar puntos de corte específicos y validados para el dispositivo utilizado al incluir el QUS del calcáneo dentro de un algoritmo que tenga como objetivo la selección o clasificación previa a tratamiento, considerando siempre las características propias de cada población involucrada (211). En la literatura se destaca de manera constante su utilidad para evaluar el riesgo de fracturas patológicas, aun cuando no están relacionadas con la osteoporosis (212). La detección temprana y el diagnóstico preciso de la osteoporosis suponen desafíos significativos según el punto de vista de la investigación (213). Contar con métodos de diagnóstico que consideren la naturaleza progresiva y usualmente inadvertida del comienzo de la osteoporosis resulta decisivo para detectar oportunamente y con precisión a los pacientes en riesgo. Con un enfoque multidisciplinario para diagnosticar la osteoporosis, la incorporación de parámetros dentales en los modelos de diagnóstico representaría un progreso importante. Nuestro estudio ha revelado hallazgos coherentes que apoyan la relación entre la salud dental y ósea, de manera similar a lo indicado en estudios previos (214–219). Mejorar la capacidad de los modelos existentes para predecir la presencia de osteoporosis puede ser posible mediante el uso de algoritmos que incorporen parámetros dentales y técnicas no invasivas, como el QUS. La creación de herramientas de diagnóstico más efectivas se lograría mediante el desarrollo de modelos matemáticos que combinen estas medidas diversas. La posibilidad de determinar qué pacientes deben realizar pruebas de DXA mejoraría con estos modelos. Por ejemplo, un modelo que combine datos dentales y resultados de QUS podría identificar a individuos con una alta probabilidad de baja DMO, sugiriendo la necesidad de una confirmación mediante DXA. Sin embargo, en nuestro estudio no hemos podido encontrar un modelo que combine los parámetros derivados de QUS con los parámetros dentales estudiados

derivados de la realización de ortopantomografías sugiriendo que tal vez ese modelo matemático no pueda realizarse o que la asociación entre los parámetros sea tan baja que sea necesario implementarlo a partir de tamaño muestrales mayores al utilizado en nuestro estudio.

En odontología, el uso del ultrasonido ha ido avanzando progresivamente hasta llegar a ser utilizado hoy día en diferentes ámbitos tales como: endodoncia, diagnóstico de lesiones óseas maxilares o evaluación periodontal (220). Recientemente, se han realizado estudios utilizando QUS de falange para examinar cambios en la microarquitectura ósea en pacientes con osteonecrosis de los maxilares relacionada con el tratamiento con bisfosfonatos (BRONJ). Los resultados indican claramente que esta técnica es valiosa ya que permite identificar tempranamente alteraciones asociadas con BRONJ y provee información vital sobre el deterioro óseo (221).

Mas escasos son los estudios que han abordado específicamente la relación entre el QUS de calcáneo y los diferentes índices mandibulares obtenidos a partir de ortopantomografías. En un estudio con mujeres postmenopáusicas en las que se determinó el MCI, PMI, DMO de la mandíbula y DMO de la cadera no hubo diferencias significativas entre los subgrupos de estudio excepto en la DMO mandibular. La DMO mandibular correlacionó significativamente con las mediciones de DXA y QUS a nivel de las falanges (Ad-SOS; $r=-0.36$, $p>0.05$ y BUA; $r=-0.55$, $p<0.001$) (140), siendo este resultado totalmente inconsistente con lo observado en nuestra cohorte, donde los parámetros derivados del QUS de calcáneo (UBV, UBPI y BTT) no correlacionaron con la DMO de la mandíbula determinada mediante DXA. Sin embargo, al igual que en nuestro trabajo, el de Drozdowska et al., también reportó la capacidad de las variables mandibulares para discriminar entre casos normales y de osteopenia/osteoporosis en términos de especificidad y sensibilidad concluyendo al igual que nosotros que el rango de eficacia de los

diferentes índices y determinaciones densitométricas es de eficacia de baja a moderada. Estos resultados podrían indicar la importancia de desarrollar estudios que específicamente utilicen QUS de calcáneo ya que parece que los resultados difieren en función de lugar anatómico en el que se realice la determinación. Como se ha indicado los estudios presentes en la literatura que aborden el uso de QUS de calcáneo y parámetros odontológicos diversos son escasos, así como los de QUS en general, y lo cierto es que la visión general es confusa e impide obtener una conclusión sólida de manera conjunta. En nuestro estudio, hemos empleado la correlación de Spearman para analizar las relaciones existentes entre medidas de QUS del calcáneo y diferentes parámetros derivados de ortopantomografías mandibulares. En base a los resultados obtenidos se puede concluir que existe una falta notoria de correlación significativa entre todos los parámetros estudiados. Las medidas obtenidas del calcáneo y la mandíbula parecen verse afectadas por diferentes factores no claramente definidos o identificados, según estos hallazgos. Esto enfatiza aún más la importancia de realizar investigaciones adicionales para un mejor entendimiento de estas relaciones dentro de diversos entornos clínicos.

La falta de asociación entre los parámetros óseos determinados a nivel del calcáneo y aquellos derivados de las determinaciones a nivel de la mandíbula se ha confirmado también mediante determinación de la DMO a nivel del calcáneo mediante absorciometría de rayos X de doble energía del talón (DXL). En términos técnicos, el DXL utiliza dos niveles de energía de rayos X (baja y alta) para cada punto de medición, a los cuales se añade la medición del grosor exacto del objeto escaneado mediante láser. Esta combinación de mediciones permite una estimación más precisa de la DMO, mejorando así la exactitud en la detección y prevención de la osteoporosis, especialmente en poblaciones con factores de riesgo (222). Particularmente la relación entre el MCI y la DMO del calcáneo se estudió en mujeres posmenopáusicas (n= 129 mujeres de 50 a 77 años),

analizadas mediante radiografía panorámica para evaluar el MCI y mediante DXL para examinar la BMD del calcáneo. Los sujetos participantes se clasificaron en tres grupos según sus T-scores del calcáneo, y el MCI se dividió en tres categorías (C1, C2, C3). Jagelavičienė et al., (157) reportan diferencias estadísticamente significativas en la BMD de cadera entre los grupos C1 y C3, y C2 y C3, así como entre los grupos de BMD del calcáneo, resultados que básicamente consistentes con los reportados en nuestro trabajo. En el estudio de Jagelavičienė et al., también se observó una correlación inversa significativa consistente entre el MCI y la BMD del calcáneo ($r=-0.36$; $p>0.001$). Es un resultado que no hemos podido confirmar de manera sólida, pero sí que claramente nuestros resultados confirman que a medida que empeora la salud bucodental (según se crece de categoría C1 a C2) los parámetros derivados del QUS de calcáneo empeoran significativamente. Respecto de las métricas de rendimiento para el diagnóstico de baja masa ósea mediante el MCI los resultados son también consistentes con los obtenidos en nuestro trabajo en el sentido del rendimiento moderado a bajo de este parámetro (sensibilidad (69.4%) y especificidad (53.9%)).

En adultos mayores sanos (50-64 años) se ha estudiado la relación de QUS del calcáneo y tres índices panorámicos (MCW, MCI y PMI). Para el análisis de los datos se utilizaron la prueba de análisis de varianza de una vía o Kruskal-Wallis H y pruebas post hoc, junto con el coeficiente de correlación de Spearman. En líneas generales la aproximación metodológica de Kiswanjaya et al., es semejante a la nuestra. Los resultados mostraron que las distribuciones de T-score en las categorías normal, osteopenia y osteoporosis fueron de 80 (21.6%), 236 (63.6%) y 55 (14.8%), respectivamente frente a 80 (34%), 87 (43.5%) y 45 (22.5%) observado en nuestro estudio, pero en nuestro caso determinado mediante DXA (*gold estándar* para el diagnóstico de osteoporosis). Kiswanjaya et al., reportan una relación significativa entre los T-scores y variables como la edad, MCW, PMI y MCI ($p < 0.001$). Como se ha indicado

anteriormente particularmente con PMI y MCW en nuestro estudio no se ha observado dicha asociación, aunque si con MCW y con la edad (resultado no mostrado). De acuerdo con la investigación llevada a cabo por Kiswanjaya et al., se constató una asociación relevante en personas mayores que tenían buena salud y mostraban características como MCI de Clase 3, MCW inferior a 3 mm y relación PMI menor a 0.3, con valores más bajos de T-scores correspondientes a la densidad ósea en el análisis mediante QUS. Esto implica que estas personas tenían una predisposición más alta a padecer osteoporosis. Sin embargo, es importante ser cauteloso al considerar esta afirmación debido a que hay estudios previos que sugieren no utilizar el QUS calcáneo como una herramienta de diagnóstico para este objetivo. En resumen, los resultados obtenidos indican que la evaluación panorámica de las estructuras dentales puede ser una herramienta valiosa para detectar anticipadamente a las personas con mayor probabilidad de desarrollar osteoporosis. Asimismo, los resultados alcanzados ratifican nuestras investigaciones previas sobre la importancia clínica del MCI y su conexión directa con la detección temprana de esta enfermedad; específicamente, hemos constatado una probabilidad sustancialmente más elevada de osteoporosis dentro del grupo C3 que en comparación con el grupo C1, ya sea considerando un punto de vista derecho (OR=10.400; p=0.043) o un punto de vista izquierdo (OR=13.5; p = 0 .0002). Basándonos en los datos obtenidos, se puede afirmar que hay una mayor probabilidad de desarrollar osteoporosis en la categoría C3. Aunque así sea, se debe recordar que estos resultados deben ser evaluados con cuidado debido a los grandes intervalos de confianza asociados.

Okabe et al. (223), evaluaron radiografías panorámicas de 262 hombres y 397 mujeres, todos de 80 años. A todos los participantes se les realizó un QUS de talón y observaron correlaciones significativas entre la el QUS de talón y el ancho y la forma cortical concluyendo, en la línea que

venimos describiendo, que las mediciones corticales en radiografías panorámicas estarían asociadas con el QUS de calcáneo.

Pluskiewicz et al., han utilizado una aproximación metodológica más próxima a la nuestra con la determinación de DMO a nivel de la mandíbula, QUS a nivel de calcáneo y falanges y DXA a nivel de la cadera (171). Evaluaron 42 adultos (36 mujeres y 6 hombres con una edad media de 60.5 ± 6.9 años) reportando que la DMO a nivel de la mandíbula correlacionó con la DMO mediante DXA en el cuello femoral ($r=0.39$, $p<0.01$) y QUS calcáneo BUA ($r=0.39$, $p<0.01$), consistentes con el obtenidos en nuestro estudio de 0.23 ($p=0.013$) para el DXA de cuello femoral pero contrario al obtenido para los parámetros derivados de QUS de calcáneo donde no se han encontrado vínculos significativos entre los parámetros obtenidos mediante QUS y las mediciones de DMO realizadas en mandíbula. En contraposición a los hallazgos reportados por Pluskiewicz et al., donde se midió la DMO mandibular en tres áreas distintas, nuestra investigación ha tenido como objetivo principal analizar únicamente el cuerpo de esta estructura anatómica. Esta diferencia en el enfoque metodológico es significativa y podría conllevar variaciones en los resultados obtenidos. El análisis en tres regiones distintas de la mandíbula permitiría probablemente una evaluación más amplia y potencialmente más representativa de la DMO en toda la estructura mandibular. Por el contrario, al limitar nuestra medición a solo el cuerpo de la mandíbula, nuestra evaluación de la BMD podría no reflejar completamente las variaciones que pueden presentarse en otras partes de la mandíbula y de ahí la falta de asociación con los parámetros derivados del QUS de calcáneo. Es plausible que esta concentración en una sola región mandibular en nuestro estudio pueda influir en la interpretación de los resultados, especialmente al compararlos con estudios que utilizan un enfoque más diversificado.

Ohtsuki et al., también utilizaron QUS del calcáneo en pacientes mayores y lo asociaron con el índice MCI (224). Nuevamente es llamativo que se utiliza el QUS como procedimiento diagnóstico de osteoporosis, osteopenia normalidad lo cual es inadecuado siguiendo las recomendaciones actuales. La muestra utilizada involucró a 330 pacientes mayores de 65 años. Se confirmó al igual que se ha observado en nuestro estudio que la mayoría de las pacientes femeninas (108 de 186) que tenían un índice de Klemetti C3, este estaba asociado con baja BMD determinada mediante QUS de calcáneo. Es interesante que el estudio de Ohtsuki et al., presenta algunos datos segregados por sexo, de forma que observaron que en su muestra el 13.9% (20 de 144) de los hombres presentó una corteza de Clase 3 y que además en hombres, el ancho cortical mandibular no correlacionó significativamente con el QUS de calcáneo. Nuestra muestra es pequeña en lo que concierne a la representación del sexo masculino y para la mayoría de los cálculos realizados se han tratado todos los resultados como una muestra única intentado magnificar la potencia estadística de la muestra. En nuestra muestra ninguno de los hombres tuvo un diagnóstico C3 en la clasificación de Klemetti, lo cual, aunque sin dejar de ser anecdótico es concordante con lo observado por Ohtsuki et al., en lo referente al pequeño porcentaje que representaría esta categoría respecto del total en dicho sexo. La mayoría de la literatura científica sobre DMO está limitada a estudios en mujeres. Se hace patente la existencia de una significativa divergencia entre los sexos respecto a la osteoporosis, cuya presencia es mayoritaria e insistente en las mujeres debido al modo como afecta su proceso metabólico o sus niveles hormonales. Por otra parte, y en contraste con las mujeres, los hombres no presentan tantos cambios negativos a nivel microestructural debido al envejecimiento; por el contrario, persisten depositando mayor cantidad de tejido óseo durante toda su existencia, lo que aumenta la resistencia ósea (225). Incluso con la edad, puede ocurrir una aposición periosteal de nuevo hueso, lo que puede conducir a una

mayor estabilidad ósea y una BMD más alta (226). Por lo tanto, las diferentes tasas de metabolismo óseo en hombres en comparación con mujeres afectan los índices de la corteza mandibular y la BMD, y podrían no proporcionar resultados claros (224). En cualquier caso, se ha reportado también que tanto el ancho cortical como la forma cortical muestran una correlación moderada con el QUS de calcáneo en sujetos de 80 años, tanto en hombres como en mujeres, si presentan cambios osteoporóticos (223).

Ni los hombres ni las mujeres mostraron ningún vínculo concluyente entre la cantidad de dientes que les quedaban y una disminución en su DMO. No obstante, lo dicho anteriormente, en nuestro trabajo hemos sido capaces de establecer una asociación entre los parámetros obtenidos mediante QUS y las pérdidas dentarias. Se muestra un vínculo estadísticamente relevante y negativo respecto al recuento dental faltante frente a UBV junto con UBPI en ambos lados de la mandíbula, resultado que está en línea con lo publicado en la literatura científica. Al analizar el BTT, podemos ver que existe una correlación negativa no tan fuerte pero aún relevante desde un punto de vista estadístico en la parte izquierda. Estos resultados nos llevan a darnos cuenta una vez más de lo significativo que es entender cómo está conectada nuestra salud bucal con nuestros huesos. Estas investigaciones resaltan la relevancia de reconocer el impacto que nuestro bienestar dental tiene en nuestra salud ósea global, tanto durante el transcurso del tiempo como ante situaciones particulares como la osteoporosis. Las conclusiones coinciden con las ya difundidas anteriormente por Kribbs et al. (227), y por Taguchi et al. (7), donde se identificó una mayor tasa de pérdidas dentales en mujeres con osteoporosis. En cualquier caso, debemos ser críticos ya que esta asociación no es clara, y dado que la presencia de pérdidas dentales es de componente multifactorial su asociación con osteoporosis está sujeta a debate. Varios estudios sugieren que raramente existe una relación entre tener baja masa ósea o sufrir de

osteoporosis y experimentar pérdida dental (224). Aunque hay una notable disminución en la densidad ósea del cuerpo humano, no se ha confirmado que las fracturas óseas causadas por la osteoporosis estén asociadas a problemas dentales como la pérdida dental o el deterioro del reborde alveolar residual. Según diferentes estudios, esta afirmación quedaría confirmada al incorporar el análisis multivariable y controlar factores como la edad, el género y los hábitos personales (228). En esta línea, a través de un estudio retrospectivo llevado a cabo en mujeres mayores a los 50 años que han pasado por la menopausia, se encontró una correlación estadísticamente importante entre la apreciación visual del hueso cortical mandibular utilizando radiografías panorámicas y el diagnóstico relacionado con baja densidad ósea, no reportándose correlaciones significativas con la edad, el índice de masa corporal y el número de dientes restantes (229).

La literatura es abundante en cuanto a la utilización de modelos experimentales in vivo, fundamentalmente modelos de modelo de ratas ovariectomizadas (modelo habitual de osteoporosis inducida experimentalmente), para el estudio mediante pQCT de las características morfométricas (volumen y área) de la mandíbula (216,230–235). Incluso las características de la mandíbula se han valorado directamente mediante pQCT en modelos humanos (236,237), pero la literatura es en general escasa respecto de estudios que hayan abordado la relación de la DMO de mandíbula y el pQCT medido periféricamente en brazo. En nuestro estudio hemos realizado un análisis de parámetros obtenidos mediante pQCT) del radio y no se reportan asociaciones significativas entre los parámetros asociados a la densidad volumétrica ósea y los parámetros de área, con la única excepción de la presencia de diferencias estadísticamente significativas en la densidad cortical y subcortical del radio en relación con la clasificación de Klemetti C1 y C2. Sorpresivamente no se observan diferencias entre C1 y C3, lo cual resta plausibilidad biológica al hallazgo encontrado y parece más un resultado de tipo

anecdótico. Esto se reafirma en el sentido de que tampoco se han podido encontrar ningún tipo de correlación entre la DMO de la mandíbula determinada mediante DXA y los diferentes parámetros derivados del pQCT de radio. Debemos tener presente que el pQCT se realiza sobre el radio, que presenta una composición ósea con predominio de hueso cortical compacto, frente a la mandíbula que está caracterizada por hueso de tipo trabecular. Además de la composición ósea, las cargas biomecánicas en las diferentes áreas anatómicas también son considerablemente diferentes (40).

Al agregar un nuevo conocimiento al ámbito de la densidad ósea en relación con la clasificación de Klemetti, nuestra investigación indica que es conveniente evitar futuras investigaciones que intenten relacionar el pQCT de radio con los aspectos estructurales mandibulares.

La posibilidad de fracturas es más alta si hay osteoporosis, debido al deterioro estructural de los huesos y la menor densidad mineral. La literatura científica es abundante a lo largo de décadas en intentar dilucidar si hay posibilidades de una existencia de conexión entre osteoporosis y la pérdida de hueso en áreas anatómicas diferentes la mandíbula, columna, cadera, y muñeca. Los factores que condicionan esta pérdida de densidad en el hueso son múltiples he incluyen entre otros y de forma principal el envejecimiento, cambios en la secreción hormonal, y cómo es la nutrición. Todo el esqueleto, incluyendo mandíbula y maxilar es afectable de manera sistémica. (238). La tecnología DXA se ha establecido como el método preferido en la estimación de la DMO debido a sus múltiples ventajas: Con un alto rendimiento en su velocidad de escaneo, el escáner permite realizar evaluaciones rápidas y eficientes. Esto resulta particularmente beneficioso en entornos clínicos con una gran cantidad de pacientes. Además, cuenta con una excelente precisión y exactitud, lo cual resulta fundamental para diagnosticar y dar seguimiento a condiciones como la osteoporosis. Se asegura la seguridad del paciente

mediante el uso de dosis bajas de radiación. Para evaluar la salud ósea, no existe una opción mejor que utilizar la técnica DXA, ya que combina de manera perfecta rapidez, precisión, exactitud y seguridad (169,239). Se aprecia una reducción más clara de la DMO en mandíbula comparada con el maxilar y por lo común, el estudio para determinar los niveles de DMO se lleva a cabo en la zona mandibular. Las distintas características de composición y metabolismo óseo explican la disparidad observada entre estas dos estructuras. Las fuerzas mecánicas presentes todo el tiempo y el constante proceso de remodelación ósea hacen que la DMO sea especialmente vulnerable a cambios importantes en la mandíbula.

Evaluar el estado general de salud óseo es especialmente importante en los adultos mayores. La prevención de enfermedades como la osteoporosis y las fracturas en personas mayores se logra mediante un cuidadoso seguimiento del debilitamiento óseo. Su importancia va más allá de mantener una buena salud ósea en general, ya que resulta clave para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades particulares relacionadas con la mandíbula. En el contexto odontológico, se considera imprescindible evaluar minuciosamente la DMO mandibular debido a su relevancia en cuanto a lograr una correcta ubicación y progreso tanto de prótesis dentales como de otras terapias. Un aspecto crucial para el mantenimiento dental es la pérdida de hueso en la mandíbula. La presencia de una disminución en la DMO mandibular conlleva un alto riesgo de ocasionar lesiones al hueso que pueden tener un impacto adverso tanto en su estabilidad como en los resultados alcanzados por medio de implantes dentales a largo plazo. De esta manera, la medición de la DMO proporciona referencias esenciales para una evaluación precisa de la indicación de implantes dentales. Además, en el campo de la implantología dental, el conocimiento de la DMO mandibular sería de gran importancia para prevenir peri-implantitis y con ello el fracaso del implante. Dicha prevención radica en que los implantes necesitan una adecuada integración ósea que les proporcione una base estable y una

deficiente DMO mandibular podría comprometerla. Por lo tanto, la evaluación de la DMO antes de los dientes implantados es un paso crítico hacia asegurar la viabilidad y duración de dichos implantes. (170). Para que todo lo expuesto sea una realidad es necesario que primeramente se establezcan bases sólidas fundamentadas en investigación, que genere evidencia científica suficiente de la existencia de una relación consolidada entre la DMO a nivel de la mandíbula y la DMO en otras áreas corporales, como la cadera o la columna, las utilizadas como referencia para el diagnóstico de osteoporosis y, por supuesto, siempre determinada en ambos casos mediante DXA, la técnica de referencia. Sin embargo, nada más lejos de la realidad, la asociación osteoporosis-DMO mandibular sigue generando controversia en la literatura como demuestra evidencia múltiple: la aplicación de un sistema asistido por ordenador permitió realizar mediciones automáticas del ancho cortical mandibular en radiografías panorámicas dentales obtenidas de 100 mujeres posmenopáusicas. En base a los resultados obtenidos, se concluye que hay una correlación estadísticamente significativa entre esta medida DMO en las regiones lumbar y cuello femoral. Además, se ha probado que esta técnica cuenta con una elevada capacidad discriminatoria para identificar individuos con baja densidad mineral ósea esquelética (240); la DMO mandibular medida mediante DXA y el MCI se relacionaron con la DMO fémur y columna lumbar no encontrándose correlaciones significativas en 80 mujeres diagnosticadas de osteoporosis (169); Ni el Índice Mental (MI), Índice Antegonial (AI), PMI y la DMO (femoral y vertebral) medida mediante DXA se correlacionaron significativamente en 25 hombres diagnosticados de osteoporosis concluyendo que estos índices derivados de radiografías panorámicas no deberían usarse en la evaluación sistémica del estado esquelético (241); DXA fue utilizado para evaluar la DMO en el maxilar, mandíbula y cuello femoral en un total de 49 pacientes edéntulos. Los resultados obtenidos demostraron que se registró una mayor DMO en la región anterior mandibular, a diferencia de las regiones

anterior y premolar del maxilar que mostraron valores más bajos. Asimismo, se llegó a la conclusión de que no hay ninguna correlación entre la DMO de los maxilares y el cuello femoral, así como tampoco con los índices radiomorfométricos panorámicos. (242); se realizó un estudio que involucró a 40 mujeres edéntulas, donde se usó DXA para investigar de qué manera está relacionada la DMO en la mandíbula con el resto del esqueleto. Además, se analizó si esta medición puede servir como predictor de los niveles de DMO. Se constataron correlaciones de importancia estadística entre múltiples regiones cuerpo mandibular y el resto de las zonas óseas estudiadas, al evaluar sus correspondientes valores (129); un completo análisis se desarrolló durante cinco años, involucrando a un grupo de 131 mujeres. Se buscó principalmente evaluar cómo impactan los cambios realizados a nivel de la estructura ósea alveolar mandibular y la DMO mediante el empleo conjunto de DXA en el antebrazo distal y radiografías periapicales digitalizadas, estableciéndose que los cambios en la estructura ósea alveolar mandibular se asocian con cambios sistémicos en la DMO y que estos pueden ser estimados mediante radiografías periapicales (243).

Existe una importante variabilidad en la DMO al examinar distintas zonas de la mandíbula debido a diferencias notables entre los componentes del hueso (cortical y esponjoso). La importancia de esta variedad de composiciones óseas, desde el punto de vista abordado en este trabajo de tesis doctoral, radica en su influencia en la resistencia y susceptibilidad frente a enfermedades del hueso, como es el caso específico de la osteoporosis. Las distintas regiones mandibulares son particularmente relevantes en este caso. Si las regiones mandibulares se comportan de forma diferente desde el punto de vista de la estructura y composición esto podría tener consecuencias desde el punto de vista de utilizarlas como referencia respecto de lo que está sucediendo en otras áreas corporales del esqueleto (las usadas como referencia para el diagnóstico de baja masa ósea u osteoporosis). De esta forma se observa

en la región del mentón una capa cortical más espesa y menor cantidad de tejido óseo poroso en comparación con los ángulos mandibulares. Se ha propuesto la posibilidad de tener una densidad ósea más alta en el mentón, lo que potencialmente brindaría mayor resistencia y apoyo mecánico. Funciones como la masticación y el soporte de implantes dentales dependen del hueso cortical debido a su sólida estructura, que se caracteriza por ser más densa y dura. Existe una situación contraria en el caso del cuerpo mandibular y los ángulos. Estas partes tienen una mayor concentración de tejido óseo esponjoso. Se localiza principalmente por su presencia alrededor del conducto mandibular, dentro de la cavidad que contiene el tercer molar ubicado en los ángulos mandibulares. Las funciones principales del hueso esponjoso son debidas a su estructura porosa y a su baja densidad, que permite absorber impactos e influir en el metabolismo de calcio. De esta forma, su baja densidad contribuye al aumento del riesgo de experimentar pérdida ósea y afecciones derivadas de enfermedades como la osteoporosis, existiendo la posibilidad de que tanto la estabilidad dental como el éxito de un potencial tratamiento odontológico local se vean afectados negativamente por este factor (170).

La evaluación de la DMO en el cuerpo mandibular mostraría sensibilidad y especificidad elevadas (80% y 97% respectivamente). Los datos indican que esta localización anatómica tendría alto nivel de eficacia en el diagnóstico preciso de la osteoporosis. Con esta información de sensibilidad y especificidad se deberían concluir que la DMO en la mandíbula es capaz tanto de detectar acertadamente un porcentaje considerable de casos positivos como también los negativos. Es relevante resaltar la importancia de contar con alta especificidad, pues esto implica una mínima probabilidad de obtener resultados falsos positivos. En el campo clínico, es sumamente relevante tener en cuenta esta condición para no realizar tratamientos innecesarios u opcionales. Particularmente respecto de las determinaciones realizadas en la *ramus mandibulae* se reporta una sensibilidad del 60% y una especificidad incluso mayor

(91%) (129). Si bien conserva altos niveles de especificidad, se evidencia una reducción en su sensibilidad. Esto podría deberse a alteraciones en el nivel de densidad del hueso o a disparidades existentes dentro de su estructura. Con respecto a la articulación media mandibular, se puede encontrar una sensibilidad y especificidad del 40% y 77% respectivamente. (170). Los valores más bajos de sensibilidad en esta región de la mandíbula afectarían negativamente a su confiabilidad para diagnosticar osteoporosis. La menor sensibilidad en las pruebas podría llevar a un alto porcentaje de casos no identificados correctamente, falsamente negativos, además si hay una menor especificidad se corre mayor peligro con el diagnóstico falsamente positivos.

Para poder calcular con precisión la DMO y evaluar su implicación en el proceso de diagnóstico de baja masa ósea u osteoporosis, es crítico asegurarse de escoger adecuadamente el área mandibular. A partir de la literatura disponible se evidencia que, al realizar una evaluación precisa del área mandibular, es posible interpretar mejor los registros de DMO y reducir las probabilidades de diagnosticados equivocados. Se deben desarrollar estudios que generen datos que permitan poder alcanzar precisión y una disminución del margen de error en el diagnóstico de baja masa ósea u osteoporosis. Para poder llevar a cabo una correcta planificación de intervenciones y tratamientos dirigidos hacia las personas propensas a sufrir osteoporosis, resulta indispensable que los profesionales tengan un profundo entendimiento sobre el tema (sobre las implicaciones derivadas de los procedimientos de determinación de la DMO en la mandíbula). Del mismo modo, futuras investigaciones deben tener como objetivo mejorar e innovar las prácticas de diagnóstico referentes a este problema.

Se han utilizado técnicas evaluativas y predictivas como el análisis mediante curva ROC para estudiar los resultados encontrados al realizar mediciones de DMO mandibular. Nos interesaba establecer una

correlación entre estos valores y las probabilidades que hay respecto presentar baja densidad ósea tanto en la columna vertebral como en la cadera. Basándonos en nuestra investigación, llegamos a la conclusión de que existe un nivel moderado de sensibilidad (51.32%) y alta especificidad (75.37%) cuando se considera el valor establecido para la DMO mandibular. No alcanzando niveles excepcionales de sensibilidad, es posible afirmar que nuestras determinaciones presentan una especificidad moderada a alta. Dado que existen abordajes diferentes en la determinación de DMO a nivel de la mandíbula desde el punto de vista experimental, se hace difícil establecer comparaciones entre diferentes estudios, es decir, resulta complicado comparar los resultados de sensibilidad y especificidad. La DMO en la mandíbula no es un parámetro aislado y uniforme, es una determinación que se debe a una combinación complicada entre la herencia genética y diversos factores del entorno personal, incluso del procedimiento de medida. La determinación de las características físicas y la DMO asociada es altamente dependiente de los genes que se heredan que afectan a densidad ósea, forma y resistencia. De ahí la importancia de realizar estudios en diferentes poblaciones. Algunas comunidades albergan perfiles genéticos que tienen el potencial de fortalecer los huesos y brindar una mayor defensa frente a enfermedades como la osteoporosis. No solo el perfil genético, si no el entorno, también puede modular la DMO. Las personas que residen en áreas con opción de poder recibir gran cantidad de radiación solar tienen mayores opciones de poder contar con niveles óptimos de vitamina D, la cual es fundamental para tener unos huesos sanos y fuertes. En paralelo, las personas residentes en áreas con escasa presencia solar están expuestas al riesgo aumentado de tener deficiencias vitamínicas tipo D. Por tanto, el proceso de evaluación y valoración de la DMO debe ser un proceso que también tenga en consideración los hábitos y estilos de vida. Una dieta que incluya aportes de adecuados de calcio y vitamina D, además del compromiso habitual con un programa físico, es posible que provoque mejoras

significativas en la salud ósea. Si no se practica ejercicio con regularidad ni se obtienen los nutrientes adecuados a través de la dieta, es más probable experimentar un deterioro en la DMO.

Consideramos que todos estos factores deberían tenerse en cuenta, o intentar controlarlos en la medida de lo posible, a la hora de establecer modelos que relacionaran la DMO en la mandíbula con la DMO en otras áreas corporales. Es importante destacar que incluso entre individuos del mismo grupo étnico, puede haber variaciones regionales en lo que respecta a la DMO y otros rasgos físicos. Los hábitos y estilos de vida no solo relacionan con la DMO en términos de la dieta o nivel de actividad, si no que otros aspectos que también debería tenerse en cuenta son los recursos económicos con los que se cuenta. En definitiva, todo estudio que pretenda comprender correctamente aspectos como la DMO u otras características corporales, es esencial que tome en consideración distintas variables tales como la genética, el medioambiente e incluso los patrones dietéticos. La clave para tener éxito en la creación de herramientas que permitan un diagnóstico temprano y fomenten una mejor salud pública radica en comprender las diferentes dimensiones involucradas e implementar estrategias adaptables a cada comunidad o grupo demográfico.

Con el fin de garantizar un avance verdadero en cuanto a la comprensión y mejoramiento tanto preventivo como terapéutico relacionado con las enfermedades óseas, es imprescindible establecer nuevas investigaciones para hacer frente a los retos mencionados previamente. Desde el punto de vista del fondo genético, de la población, se han emprendido estudios para evaluar si existe una reducción equiparable tanto en los casos de DMO del hueso mandibular como de la DMO en el cuello femoral y columna vertebral entre mujeres postmenopáusicas españolas. En el estudio se evaluaron un total de 137 mujeres posmenopáusicas a través de la técnica DXA aplicada en la

mandíbula, columna lumbar y cuello femoral. En nuestra investigación, hemos utilizado métodos de evaluación similares a los que se presentan aquí. Estrugo-Devesa et al. indican que hay asociaciones estadísticas relevantes entre las mediciones relacionadas con la columna vertebral lumbar como aquellas relacionadas con la mandíbula. Sin embargo, no hubo ninguna correspondencia detectada cuando dichas medidas fueron contrastadas respecto del el cuello femoral. (22).

Tanto el hueso mandibular como el vertebral presentan una respuesta similar respecto a la DMO en mujeres españolas postmenopáusicas. Las evaluaciones realizadas durante nuestro estudio indican que existen algunas variaciones con respecto a estos resultados. Tenemos la convicción de que las diferencias detectadas pueden estar relacionadas con el uso distinto del análisis estadístico entre nuestro estudio y el realizado por Estrugo-Devesa-et al. Por otro lado, es posible que diversos factores considerados en nuestra investigación, tales como la edad y los años transcurridos desde la menopausia, también hayan contribuido a esta discrepancia. Aunque inicialmente nuestros resultados mostraban una tendencia hacia la existencia de una correlación más sólida entre el nivel de DMO en la mandíbula y en la cadera, finalmente nuestro análisis más completo y exhaustivo determinó, que la DMO mandibular no entra en los modelos de diagnóstico de osteopenia/osteoporosis. En detalle, respecto de nuestro trabajo, tanto la DMO en el cuello femoral como en el trocánter femoral mostraron una relación estadísticamente significativa con respecto a la mandíbula en los análisis de correlación bivariada (rho Spearman 0.2231; $p=0.020$ y rho de Spearman=0.1982; $p=0.039$ respectivamente). Sin embargo, no hubo correlación alguna entre la DMO determinada tanto en la mandíbula como en L2-L4, ni en L2, L3 y L4. Según los resultados del análisis realizado utilizando regresión lineal múltiple sobre los datos correspondientes a la DMO mandibular previamente reportados, se observó una concordancia con los mismos en el sentido de reportar como la DMO en el cuello femoral aparecía como un

factor predictor positivo de la DMO en la mandíbula ($p=0.003$). El modelo no tuvo en cuenta otros factores relacionados con las determinaciones DXA de columna o cadera. Mediante regresión logística profundizamos más en el estudio de esta relación y detectamos un posible vínculo inverso entre la DMO mandibular y el riesgo de baja masa ósea, es decir, a mayor DMO mandibular se asociaría una disminución en el riesgo de presentar una baja masa ósea sistémica (cadera o columna) asociada.

El OR asociado de 0.304, refuerza esta interpretación. Sin embargo, procedimos a profundizar en esta asociación, a intentar determinar las causas últimas de la misma y, en concordancia con los resultados previos, volvimos a observar al analizar los resultados de forma separada para columna y cadera que la DMO en la mandíbula no actúa como un predictor de baja masa ósea en la columna (consistente con los resultados previos), mientras que sí que es para la cadera (OR=0.171; IC 95% 0.043-0.684). Analizados con una perspectiva global, hasta aquí nuestros resultados vendrían a mostrar una mayor asociación de la DMO determinada mediante DXA en la mandíbula con la DMO en la cadera, y definitivamente contrario a lo reportado en población española por Estrugo-Devesa et al. Pero en este trabajo hemos realizado un abordaje más completo desde el punto de vista del análisis estadístico y aunque inicialmente los datos de forma separada parecen indicar en la tendencia anterior (mayor relación con la cadera) lo cierto es que, en ninguno de los modelos de regresión logística múltiple, donde se introducen cofactores como la edad o los años desde la menopausia (además de densitométricos y orales) incluye a la DMO en la mandíbula como un predictor significativo. De hecho, las curvas ROC asociadas a la DMO en la mandíbula no mejoran cuando se analizan por separado los resultados procedentes de cadera o columna, sino que el mejor resultado, la mejor capacidad de diagnóstico (que es moderada), procede de analizar conjuntamente los casos positivos de baja masa ósea tanto en cadera como en columna.

Evaluar el poder predictivo tanto de la DMO de mandíbula como los parámetros obtenidos del análisis dental a través de radiografías se ha convertido en el foco principal para muchas investigaciones. No es realista anticipar una importante relación entre los indicadores de salud dental y el desarrollo de enfermedades óseas como osteoporosis o fracturas, ya que existe un alto nivel de complejidad asociado a estas condiciones médicas.

No obstante que se considere como un indicador clave en la evaluación del riesgo de osteoporosis, la DMO no tiene una capacidad absoluta para predecir fracturas. La predicción del riesgo de osteoporosis implica tomar en cuenta diversos factores como calidad ósea, edad, género e historia clínica. Todos estos aspectos no aparecen representados en una única medida de DMO. No se puede ignorar por tanto la existencia de posibles limitaciones al pronosticar el riesgo de osteoporosis o fracturas solamente mediante la DMO. En la literatura al respecto se ha determinado que tanto las mediciones obtenidas mediante radiografías dentales como las evaluaciones de la salud bucales por diferentes procedimientos, permitirían predecir con una precisión similar a la DMO el riesgo de osteoporosis (37). Lejos de esta visión optimista (y creemos a la vista de nuestra investigación que sobreestimada), es imprescindible que el desarrollo de modelos predictivos trascienda e incorpore parámetros que ofrezcan una comprensión más refinada acerca del problema. Esto implica no restringirse únicamente a aspectos tales como DMO mandibular o MCI sino adentrarse también a otros factores sustantivos como: la edad del individuo, origen étnico o racial, género e historial médico (evaluación de antecedente de fracturas). Además, se deben considerar también comportamientos y estilos de vida determinantes como: actividad física, hábito tabáquico, dieta y presencia de comorbilidades que afecten al metabolismo óseo o tratamientos que se sepan que pueden afectar (como los glucocorticoides, los estrógenos o los bisfosfonatos).

En base a nuestro estudio, creemos que el uso de medidas densitométricas, análisis estructurales y parámetros antropométricos y biológicos como enfoque holístico podría disminuir la efectividad de los modelos derivados al reducir su sensibilidad y especificidad, pero aportar un resultado más realista y adecuado a la utilidad real de la técnica densitométrica o índice derivado del análisis de radiografías dentales utilizada. Tanto la DMO en mandíbula como el MCI se sobrevaloran frecuentemente como factores predictivos de riesgo de osteoporosis debido al uso común de enfoques univariantes en los modelos propuestos en la literatura. Los distintos modelos propuestos en nuestro estudio permiten arrojar luz sobre la importancia relativa que tienen la determinación de la DMO en la mandíbula y el establecimiento del MCI en la evaluación del riesgo de osteoporosis o baja masa ósea en población española. Se logra esto gracias a nuestros enfoques multivariantes.

Una sensibilidad del 78.9% (IC 95%, 72.1%–84.3%) y una especificidad del 56.2% (IC 95%, 47%–65.1%) en la detección de baja masa ósea se obtuvo mediante la revisión sistemática y metanálisis de 19 estudios. El cálculo de índices, tanto cuantitativos como cualitativos, fue realizado utilizando radiografías panorámicas orales. El mismo trabajo reporta adicionalmente una sensibilidad y especificidad para la detección de osteoporosis del 80.6% (IC 95%, 52.8%–92%) y del 64.3% (IC 95%, 41.7%–82%) (165).

Los valores presentados están en gran medida en concordancia con los encontrados en nuestro estudio; no obstante, difieren notablemente respecto a aquellos que exageran la capacidad diagnóstica del Índice de Klemetti con especificidades entre el 81.8% y el 90.3% en un umbral diagnóstico de 3 mm, y sensibilidades entre el 94.2% y el 99.3% y especificidades entre el 9.8% y el 23.7% (umbral diagnóstico de 4.5 mm) (244). Modelos automatizados aplicados sobre radiografías panorámicas han obtenido precisiones del 76.8% en sensibilidad y del 61.1% en

especificidad en la correcta identificación de mujeres con baja BMD a partir de la evaluación de la erosión cortical de la mandíbula. Este mismo trabajo, reporta una capacidad de diagnóstico de mujeres con osteoporosis con sensibilidad del 84.4% y especificidad del 43.8% (245). Otro modelo automatizado se ha desarrollado para poder diagnosticar y medir el ancho cortical inferior mandibular también a partir de radiografías panorámicas dentales. El mismo sistema tendría la capacidad de identificar aquellas mujeres que presentarían baja DMO sistémica con sensibilidad y especificidad del 90% (IC 95%: 63.0–87.0) en mujeres con baja DMO espinal, y del 81.8% (IC 95%: 70.1–91.8) y 69.2% (IC 95%: 56.2–81.8) en aquellas con baja DMO femoral, respectivamente (246). La literatura más reciente que ha evaluado de forma conjunta resultados procedentes de diferentes estudios la encontramos en agosto de 2023 y corresponde a un estudio que evalúa la capacidad de diagnóstico de diferentes índices cuantitativos (MCI, MCW y PMI). La mejor capacidad diagnóstica para la detección de baja DMO correspondería a un MCW ≤ 3 mm, con sensibilidad y especificidad de 0.712 (IC 95%, 0.477–0.870) y 0.804 (IC 95%, 0.589–0.921), respectivamente y advirtiendo que el MCI es propenso al riesgo de sesgo debido a la subjetividad del observador (247).

Respecto del potencial predictivo de la DMO en mandíbula ya se ha comentado el trabajo de Horner et al., en el que la medición de DMO del cuerpo mandibular mostró alta sensibilidad (0.8) y especificidad (0.97), la DMO de la sínfisis mostró baja sensibilidad (0.4) pero alta especificidad (0.77), mientras que la DMO de la rama mandibular tuvo una sensibilidad moderada y alta especificidad (129).

Para poder localizar rápida y efectivamente los signos indicativos de baja densidad ósea, lo cual representa un elemento determinante del posible desarrollo de osteoporosis, se ha desarrollado extensa investigación científica. Aún queda por resolver en el campo dental una

pregunta importante: en cuanto al uso de las radiografías, ¿cómo se pueden emplear para identificar potenciales diagnósticos de osteoporosis de forma confiable? El fundamento principal radica en un supuesto acerca de cómo el desarrollo óseo influye en la mandíbula y, al mismo tiempo, este conocimiento puede ser utilizado para identificar posibles problemas similares presentes en otras áreas particulares dentro del sistema esquelético donde existe un alto riesgo de padecer condiciones debilitantes tales como la osteoporosis. Las áreas señaladas son mayormente las utilizadas con el objetivo de diagnosticar la dolencia fundamentalmente la cadera y la columna lumbar. Se sugiere establecer una relación entre los problemas dentales y el buen funcionamiento del sistema óseo, sosteniendo que irregularidades en la mandíbula podrían ser evidencia de trastornos a nivel sistémico. Pese a los considerables progresos realizados hasta ahora, resulta fundamental proseguir con más investigaciones relacionadas con la osteoporosis y orientar particularmente dichos esfuerzos hacia el uso práctico de dichos descubrimientos en contextos clínicos. Un aspecto fundamental es examinar detenidamente el impacto específico que la enfermedad tiene para pronosticar casos de osteoporosis en los huesos y tener en cuenta las medidas tomadas desde la mandíbula. Es decir, ¿hasta qué punto las mediciones de la DMO mandibular pueden ser un indicador fiable de la osteoporosis esquelética general? Hace falta ampliar nuestro conocimiento sobre la relación entre la DMO mandibular y la osteoporosis. La complejidad en la relación está relacionada con distintos elementos que la modulan: se deben tener presentes varios factores como la edad, el género y las características genéticas específicas; así como también es importante contemplar los estilos de vida habituales o cualquier condición médica que pueda afectar potencialmente al metabolismo óseo.

Es aconsejable orientar los esfuerzos investigativos hacia la validación y mejoramiento tanto técnico como científico de la

determinación de la DMO mandibular. Además, resulta crucial examinar la relación existente entre estas mediciones particulares y otros factores que modulan la salud ósea. Para lograr un diagnóstico temprano e intervención efectiva en casos vinculados directa o indirectamente a la osteoporosis, es necesario incluir apropiadamente estos datos en nuestras estrategias. El enfoque está puesto en conseguir el desarrollo de métodos diagnósticos que sean precisos y simples para su aplicación. La intervención rápida en aquellos individuos con mayor tendencia a desarrollar osteoporosis dará lugar a mejoras significativas.

La mayor fortaleza de este trabajo de tesis doctoral es que evalúa por primera vez en la misma cohorte poblacional no solo datos procedentes de radiografías panorámicas óseas y los relaciona con datos densitométricos de columna y cadera, sino que se han incluido datos procedentes de DXA de mandíbula, pQCT de radio y ultrasonido cuantitativo óseo de talón. Hasta nuestro mejor entender este es el único estudio en la literatura que ha utilizado ese abanico de técnicas densitométricas acompañado además de un análisis multifactorial teniendo en cuenta factores antropométricos y biológicos.

En el presente estudio observacional y transversal se reconocen las siguientes limitaciones que han podido afectar a la interpretación que se hace los resultados obtenidos:

Desbalance en la Representación de Género: Una restricción significativa de esta investigación es la disparidad en el tamaño de la muestra entre personas del sexo masculino y femenino, siendo mucho más reducida para los hombres. Los resultados podrían no ser completamente aplicables debido a esta desproporción. Podría no haber una representación adecuada de las diferencias de género en la DMO y los patrones de pérdida ósea.

Tamaño de la Muestra y Potencial Error Tipo II: El tamaño moderado de la muestra en el estudio genera inquietudes sobre su potencia estadística, fundamentalmente a la hora de establecer análisis de subgrupos, principalmente en relación con la detección de diferencias o correlaciones que podrían ser sutiles pero importantes. Puede existir una probabilidad de cometer un error de Tipo II, con el riesgo de interpretar incorrectamente los resultados no estadísticamente significativos como falta de efecto o asociación, aunque existan relaciones fuertes entre la DMO en diferentes áreas según lo establecido por la literatura.

Omisión de Datos sobre Ingesta de Calcio y Vitamina D: En el estudio no se consideraron variables importantes como la ingesta de calcio y vitamina D, los cuales son factores cruciales para mantener una buena salud ósea. Si no se tienen estos datos, es posible que se escape la detección de confundidores o modificadores de efecto en la relación entre la DMO mandibular y otras áreas corporales.

Estimación Limitada de la DMO Mandibular: La DMO fue estimada en un solo punto de la mandíbula, lo cual plantea una limitación metodológica. Ha sido comprobado que hacer mediciones en hasta tres áreas diferentes es fundamental para lograr una evaluación exacta y veraz sobre el nivel real de densidad ósea mandibular. La precisión al evaluar la DMO de la mandíbula, así como su interrelación con parámetros derivados de otras áreas anatómicas podría verse comprometida debido a esta restricción.

Tener presentes estas restricciones al analizar las evidencias derivadas de nuestro estudio subraya la importancia crucial de realizar investigaciones suplementarias que sean más sólidas y objetivas con el fin de confirmar y consolidar nuestras conclusiones. Sería recomendable abordar la necesidad de emprender investigaciones adicionales con el fin de superar estas limitaciones, ya que ello nos permitiría obtener una

perspectiva más integral y precisa sobre las relaciones que han sido objeto del estudio.

CAPITULO VI.
CONCLUSIONES

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo de tesis doctoral son las siguientes:

1. La DMO de la mandíbula determinada mediante DXA en adultos españoles sanos se relaciona positivamente con la DMO determinada mediante DXA en la cadera. Por el contrario, no se observa una relación entre la DMO a nivel mandibular y la DMO en la columna.
2. Existe una falta de asociación entre la DMO de mandíbula y los parámetros derivados ultrasonido óseo de calcáneo y del pQCT de radio.
3. La DMO de mandíbula permite el establecimiento de modelos diagnósticos de baja masa ósea que presentan una especificidad y sensibilidad moderadas. Lo mismo sucede con los índices asociados al grado de resorción de la corteza mandibular obtenida mediante ortopantomografía, permiten la discriminación de pacientes con baja masa ósea sistémica con especificidad y sensibilidad moderada a baja.
4. La incorporación de parámetros derivados del ultrasonido óseo de calcáneo y del pQCT de húmero no mejoran la sensibilidad y eficacia de los modelos diagnósticos de baja masa ósea fundamentados en la DMO de mandíbula y los índices asociados al grado de resorción de la corteza mandibular obtenida mediante ortopantomografía.

5. Se necesitan estudios realizados con tamaños de muestra mayor para poder consolidar esta evidencia en población española femenina y masculina.

6. Futuros estudios deberán en la medida de lo posible consolidar la incorporación de factores antropométricos, biológicos y de hábitos y estilos de vida a los modelos matemáticos desarrollados para predecir el riesgo de baja masa ósea.

CAPÍTULO VII. ANEXOS

ANEXO 1. Informe del Comité de Bioética y Bioseguridad de la Universidad de Extremadura



PROF. DR. JUAN DIEGO PEDRERA ZAMORANO
ESCUELA UNIVERSITARIA DE ENFERMERÍA Y TERAPIA OCUPACIONAL
DEPARTAMENTO DE ENFERMERÍA
Campus Universitario
Apdo. de Correos 969
10071. - Cáceres (España)
Tlf. - 927-25-74-50
Fax. - 927-25-74-51
E-mail: jpedrera@unex.es

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, D./D^a. _____, mayor de edad, con documento nacional de identidad número _____, hago constar que he recibido suficiente información sobre las técnicas de valoración ósea (mediante ultrasonidos, tomografía cuantitativa computerizada periférica y/o absorciometría radiológica de doble energía) y sobre las técnicas de valoración de la composición corporal mediante bioimpedancia a las que me voy a someter; habiendo podido realizar preguntas sobre el estudio para su mejor entendimiento. Comprendo que mi participación es voluntaria y que puedo retirarme de dicho estudio cuando estime oportuno sin tener que dar explicaciones. He sido informado/a de que los tejidos/muestras que cedo serán utilizados exclusivamente con finalidad de investigación sin ánimo de lucro.

Manifiesto que: a) no tengo marcapasos, b) ni prótesis metálica, c) no estoy, ni sospecho estar, embarazada y c) no me he realizado ninguna densitometría DEXA en el último año.

Así mismo, cedo* al Departamento de Enfermería de la Universidad de Extremadura (exclusivamente para fines de investigación) el uso de los datos obtenidos, prestando libremente mi conformidad para participar.

En Cáceres a _____ de _____ de _____.

Fdo. _____

*En cumplimiento de lo dispuesto en la LO 15/99 de Protección de Datos de Carácter Personal, le informamos que los datos personales facilitados por Vd. Serán tratados de forma totalmente confidencial e incorporados a un fichero responsabilidad de la Unidad de Investigación de Enfermedades Metabólicas Óseas del Departamento de Enfermería de la Universidad de Extremadura, para finalidades de investigación. La cumplimentación del presente documento implica la autorización para usar los datos personales facilitados con la finalidad citada. No obstante, podrá ejercitar sus derechos de acceso, rectificación y cancelación, en su caso, dirigiéndose a nuestra unidad a través de cualquiera de los medios indicados.

ANEXO 2. Informe del Comité de Bioética y Bioseguridad de la Universidad de Extremadura



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

Campus Universitario
Avda de Elvas, s/n
06071 - BADAJOZ

Tel.: 924 28 93 08
Fax: 924 27 29 83

NºRegistro: 192/2020

D. JOÃO NUNO MEIRELES DA SILVA GONÇALVES RIBEIRO, SECRETARIO DE LA COMISIÓN DE BIOÉTICA Y BIOSEGURIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

INFORMA: Que una vez analizada por esta Comisión, en su sesión celebrada el 10/12/2020, la solicitud de Proyecto de Tesis titulado “Estudio de correlación de la densidad mineral ósea mandibular con la salud ósea lumbar, femoral, radial y de falange. Aplicación para el diagnóstico de osteoporosis”, cuyo Director es D. Jesús M^o Lavado García y cuya Investigadora Principal es Dña. María Vera Rodríguez, ha decidido por unanimidad, valorar positivamente el precitado proyecto por considerar que se ajusta a las normas éticas esenciales cumpliendo con la normativa vigente al efecto.

Y para que conste y surta los efectos oportunos firmo el presente informe.

MEIRELES DA SILVA GONCALVES RIBEIRO JUAN NUNO - 088446425

Firmado digitalmente por MEIRELES DA SILVA GONCALVES RIBEIRO JUAN NUNO - 088446425
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=DCS-088446425, givenName=JUAN NUNO, sn=MEIRELES DA SILVA GONCALVES RIBEIRO, cn=MEIRELES DA SILVA GONCALVES RIBEIRO JUAN NUNO - 088446425
Fecha: 2020.12.11 12:23:48 +01'00'

DE FRANCISCO MORCILLO JAVIER - 28946338X

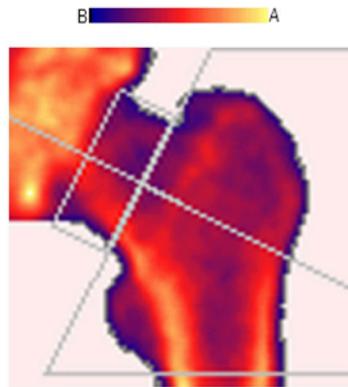
Firmado digitalmente por DE FRANCISCO MORCILLO JAVIER - 28946338X
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=DCS-28946338X, givenName=JAVIER, sn=DE FRANCISCO MORCILLO JAVIER - 28946338X
Fecha: 2020.12.14 16:50:47 +01'00'

V.º B.º

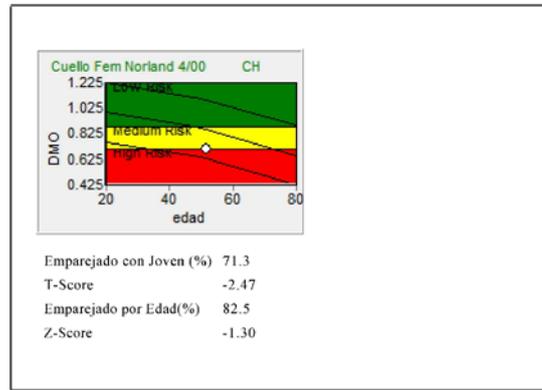
Fdo.: Javier de Francisco Morcillo
Presidente por delegación de la
Comisión de Bioética y Bioseguridad

ANEXO 3: DATOS DE SALIDA DENSITÓMETRO NORLAND XR-800®

ID:		Raza:	Caucasico-163
Edad:	51 años	Altura:	163
Sexo:	Femenino	Peso:	59



Cadera izquierda en: 04/04/2011 10:23:35



Region	DMO (g/cm ²)	CMO (g)	Area (cm ²)	Longitud (cm)	Anchura (cm)	T-Score	Emparejado con Joven (%)	Z-Score	Emparejado por Edad (%)	Var. Estand (%)	Var. Estand (%/año)	Var. Largo Plazo (%)	Var. Largo Plazo (%/año)
Cuello Fem	0.7090	3.718	5.244	1.50		-2.47	71.3	-1.30	82.5	*****	*****	*****	*****
Tronco	0.6833	8.137	11.91			-0.89	87.7	-0.07	99.0	*****	*****	*****	*****
Total sDMO	860.4mg/cm ²	29938mg	34.80			*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Estándar CVs para Cuello DMO: 1.2 CMO: 1.7 Consulte el manual para otros valores estimados.
1.0 mm X 1.0 mm, 90 mm/s, 9.00 cm, Rev. 4.3.0/2.3.1 Calib. 04/04/11 S/N 8570

Comentarios:



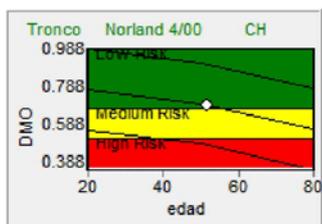
Nombre:	ID:
Dirección:	Raza: Caucásico-163
Teléfono:	Edad: 51 años
Historial:	Años Meno:
Tratamiento:	Sexo: Femenino
Medicación:	Altura: 163
	Peso: 59

Comentarios

Información Escaner

Tipo de Informe: Cadera izquierda	Resolución: 1.0 x 1.0
Fecha Análisis: 04/04/2011 10:24:59	Velocidad: 90 mm/s
Fecha Calibración: 04/04/11	Amplitud: 9.0
Técnico:	Hueste/Escanner: 4.3.0/2.3.1
Médico:	Análisis/Version: 4.3.0

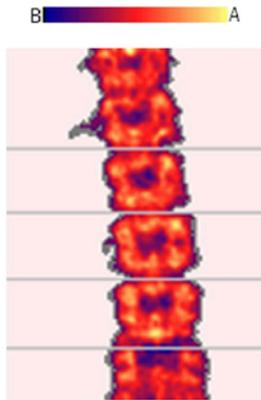
Resultados Detallados



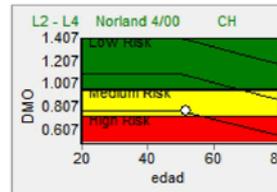
Emparejado con Joven (%)	87.7
T-Score	-0.89
Emparejado por Edad (%)	99.0
Z-Score	-0.07



ID: **Raza:** Caucásico-163
Edad: 51 años **Altura:** 163
Sexo: Femenino **Peso:** 59



Columna AP en: 04/04/2011 10:19:05



Emparejado con Joven (%) 69.2
 T-Score -2.18
 Emparejado por Edad(%) 71.5
 Z-Score -1.95

Imagen no válida para diagnóstico.

Colocacion del cursor manual

Region	DMO (g/cm²)	CMO (g)	Area (cm²)	Longitud (cm)	Anchura (cm)	T-Score	Emparejado con Joven (%)	Z-Score	Emparejado por Edad(%)	Var. Estand (%)	Var. Estand (%/año)	Var. Largo Plazo (%)	Var. Largo Plazo (%/año)
L2 - L4	0.7711	35.17	45.60	10.7	13.9	-2.18	69.2	-1.95	71.5	*****	*****	*****	*****
L2	0.7539	10.63	14.10	3.45	13.9	-2.33	67.1	-2.08	69.5	*****	*****	*****	*****
L3	0.7864	11.83	15.04	3.45	13.9	-2.08	69.4	-1.87	71.5	*****	*****	*****	*****
L4	0.7718	12.71	16.47	3.75	13.9	-1.89	71.2	-1.73	73.1	*****	*****	*****	*****
Total sDMO	829.8mg/cm²	37842mg	45.60	10.7	13.9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Estándar CVs para L2-L4 DMO: 1.0 CMO: 1.5 Consulte el manual para otros valores estimados.
 1.5 mm X 1.5 mm, 130 mm/s, 13.95 cm, Rev. 4.3.0/2.3.1 Calib. 04/04/11 S/N 8570

Comentarios:



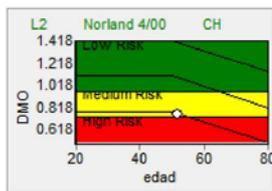
Nombre:	ID:
Dirección:	Raza: Caucásico-163
Teléfono:	Edad: 51 años
Historial:	Años Meno:
Tratamiento:	Sexo: Femenino
Medicación:	Altura: 163
	Peso: 59

Comentarios

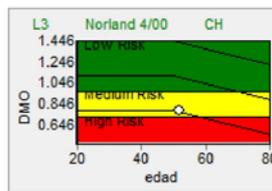
Información Escanner

Tipo de Informe: Columna AP	Resolución: 1.5 x 1.5
Fecha Análisis: 04/04/2011 10:19:40	Velocidad: 130 mm/s
Fecha Calibración: 04/04/11	Amplitud: 14.0
Técnico:	Hueste/Escanner: 4.3.0/2.3.1
Médico:	Análisis/Version: 4.3.0

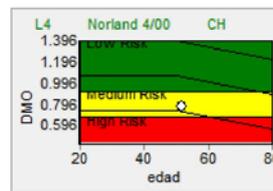
Resultados Detallados



Emparejado con Joven (%) 67.1
 T-Score -2.33
 Emparejado por Edad(%) 69.5
 Z-Score -2.08



Emparejado con Joven (%) 69.4
 T-Score -2.08
 Emparejado por Edad(%) 71.5
 Z-Score -1.87



Emparejado con Joven (%) 71.2
 T-Score -1.89
 Emparejado por Edad(%) 73.1
 Z-Score -1.73



CAPÍTULO VIII.
BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

1. Consensus Development Conference on Osteoporosis. Hong Kong. The American journal of medicine. 1 de abril de 1993;95(5A):1-78.
2. Melton LJ, Gabriel SE, Crowson CS, Tosteson ANA, Johnell O, Kanis JA. Cost-equivalence of different osteoporotic fractures. Osteoporos Int. junio de 2003;14(5):383-8.
3. Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. Osteoporosis International. 2006;17(12):1726-33.
4. Tural S, Kara N, Alayli G, Tomak L. Association between osteoporosis and polymorphisms of the bone Gla protein, estrogen receptor 1, collagen 1-A1 and calcitonin receptor genes in Turkish postmenopausal women. Gene. 15 de febrero de 2013;515(1):167-72.
5. Group TWS. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Genève: World Health Organization; 1994.
6. Health NI of, others. Osteoporosis and related bone diseases national resource center. Bone Mass Measurement: What the Numbers Mean Available online: <https://www.bones.nih.gov/sites/bones/files/pdfs/bonemassmeasure-508.pdf> (accessed on 2 June 2021). 2006.
7. Tanaka, R., Tanaka, T., Yeung, A. W. K., Taguchi, A., Katsumata, A., & Bornstein, M. M Mandibular Radiomorphometric Indices and Tooth Loss as Predictors for the Risk of Osteoporosis using Panoramic Radiographs. Oral health & preventive dentistry [Internet]. 9 de abril de 2020 [citado 21 de noviembre de 2023];18(1). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32895661/>
8. Taguchi A., Tanimoto, K., Suei Y., Ohama K., & Wada, T.. Relationship between the mandiblar and lumbar vertebral bone mineral density at different postmenopausal stages. Dento maxillo facial radiology [Internet]. junio de 1996 [citado 21 de noviembre de 2023];25(3). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9084261/>
9. Taguchi A., Sanada M., Krall E., Nakamoto T., Ohtsuka M., Suei Y., Tanimoto K., Kodama I., Tsuda M., & Ohama, K.. Relationship between dental panoramic radiographic findings an biochemical markers of bone turnover. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research

- [Internet]. septiembre de 2003 [citado 21 de noviembre de 2023];18(9). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12968679/>
10. Taguchi A., Suei Y., Sanada M., Ohtsuka M., Nakamoto T., Sumida H., Ohama K., & Tanimoto K. Validation of dental panoramic radiography measures for identifying postmenopausal women with spinal osteoporosis. *AJR American journal of roentgenology* [Internet]. diciembre de 2004 [citado 21 de noviembre de 2023];183(6). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15547223/>
 11. Bollen AM, Taguchi A, Hujoel PP, Hollender LG Case-control study on self-reported osteoporotic fractures and mandibular cortical bone. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* [Internet]. octubre de 2000 [citado 21 de noviembre de 2023];90(4). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11027391/>
 12. Taguchi A, Suei Y, Ohtsuka M, Otani K, Tanimoto K, Ohtaki M. Usefulness of panoramic radiography in the diagnosis of postmenopausal osteoporosis in women. Width and morphology of inferior cortex of the mandible. *Dentomaxillofac Radiol.* noviembre de 1996;25(5):263-7.
 13. Kim CS, Kim EK, Lee KS, et al.. Relationship between bone mineral density, its associated physiological factors, and tooth loss in postmenopausal Korean women. *BMC women's health* [Internet]. 26 de agosto de 2015 [citado 21 de noviembre de 2023];15. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26306548/>
 14. Marjanovic EJ, Southern HN, Coates P, et al. Do patients with osteoporosis have an increased prevalence of periodontal disease? A cross-sectional study. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* [Internet]. julio de 2013 [citado 21 de noviembre de 2023];24(7). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23340948/>
 15. May H, Reader R, Murphy S, Khaw KT. Self-reported tooth loss and bone mineral density in older men and women. *Age and ageing* [Internet]. mayo de 1995 [citado 21 de noviembre de 2023];24(3). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7645442/>
 16. Savić Pavičín I, Dumančić J, Jukić T, Badel T. The relationship between periodontal disease, tooth loss and decreased skeletal bone mineral density in ageing women. *Gerodontology* [Internet]. diciembre de

- 2017 [citado 21 de noviembre de 2023];34(4). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28812320/>
17. Juluri R, Prashanth E, Gopalakrishnan D, Kathariya R, Devanoorkar A, Viswanathan V, et al. Association of postmenopausal osteoporosis and periodontal disease: a double-blind case-control study. *Journal of international oral health: JIOH*. 2015;7(9):119.
 18. Zhu L, Zhou C, Chen S, et al.. Osteoporosis and Alveolar Bone Health in Periodontitis Niche: A Predisposing Factors-Centered Review. *Cells [Internet]*. 26 de octubre de 2022 [citado 21 de noviembre de 2023];11(21). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36359775/>
 19. Tezal M, Wactawski-Wende J, Grossi SG, Ho AW, Dunford R, Genco RJ.. The relationship between bone mineral density and periodontitis in postmenopausal women. *Journal of periodontology [Internet]*. septiembre de 2000 [citado 21 de noviembre de 2023];71(9). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11022780/>
 20. Qi J, Chen J, Pang Y, Guo Y, Chen G, Liu Y, et al. Association between periodontal disease and osteoporosis in postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*. noviembre de 2023;9(11):e20922.
 21. Esfahanian V, Shamami MS, Shamami MS. Relationship Between Osteoporosis and Periodontal Disease: Review of the Literature. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*. Autumn de 2012;9(4):256.
 22. Estrugo-Devesa A, Segura-Egea J, García-Vicente L, Schemel-Suárez M, Blanco-Carrrión Á, Jané-Salas E, et al. Correlation between mandibular bone density and skeletal bone density in a Catalanian postmenopausal population. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. mayo de 2018;125(5):495-502.
 23. Martínez-Maestre MÁ, Corcuera Flores JR, Machuca G, González-Cejudo C, Torrejón R, Castelo-Branco C. Panoramic radiomorphometry and vertebral fractures in Spanish postmenopausal women. *Maturitas*. diciembre de 2013;76(4):364-9.
 24. Gaur B, Chaudhary A, Wanjari PV, Sunil M, Basavaraj P. Evaluation of panoramic Radiographs as a Screening Tool of Osteoporosis in Post Menopausal Women: A Cross Sectional Study. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR [Internet]*. septiembre de 2013 [citado 21 de noviembre de 2023];7(9). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24179941/>

25. Hastar E, Yilmaz HH, Orhan H. Evaluation of Mental Index, Mandibular Cortical Index and Panoramic Mandibular Index on Dental Panoramic Radiographs in the Elderly. *European Journal of Dentistry*. enero de 2011;5(1):60.
26. Alam T, AlShahrani I, Assiri KI, Almoammar S, Togoo RA, Luqman M.. Evaluation of Clinical and Radiographic Parameters as Dental Indicators for Postmenopausal Osteoporosis. *Oral health & preventive dentistry* [Internet]. 2020 [citado 21 de noviembre de 2023];18(1). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32515421/>
27. Hekmatin E, Ahmadi SS, Ataiekhorasgani M, Feizianfard M, Jafaripozve S, Jafaripozve N. Prediction of lumbar spine bone mineral density from the mandibular cortical width in postmenopausal women. *J Res Med Sci*. noviembre de 2013;18(11):951-5.
28. Graham J. Detecting low bone mineral density from dental radiographs: a mini review. *Clin Cases Miner Bone Metab*. 2015;12(2):178-82.
29. Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. *Am J Med*. junio de 1993;94(6):646-50.
30. Pothuaud L, Carceller P, Hans D. Correlations between grey-level variations in 2D projection images (TBS) and 3D microarchitecture: applications in the study of human trabecular bone microarchitecture. *Bone*. abril de 2008;42(4):775-87.
31. Pothuaud L, Lespessailles E, Harba R, Jennane R, Royant V, Eynard E, et al. Fractal analysis of trabecular bone texture on radiographs: discriminant value in postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int*. 1998;8(6):618-25.
32. Ruttimann UE, Webber RL, Hazelrig JB. Fractal dimension from radiographs of periodontal alveolar bone. A possible diagnostic indicator of osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. julio de 1992;74(1):98-110.
33. Geraets WG, van der Stelt PF. Fractal properties of bone. *Dentomaxillofac Radiol*. mayo de 2000;29(3):144-53.
34. Yaşar F, Akgünlü F. The differences in panoramic mandibular indices and fractal dimension between patients with and without spinal osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol*. enero de 2006;35(1):1-9.

35. Singer AJ, Sharma A, Deignan C, Borgermans L. Closing the gap in osteoporosis management: the critical role of primary care in bone health. *Curr Med Res Opin.* marzo de 2023;39(3):387-98.
36. Yeung AWK, Mozos I. The Innovative and Sustainable Use of Dental Panoramic Radiographs for the Detection of Osteoporosis. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* enero de 2020;17(7):2449.
37. White SC. Oral radiographic predictors of osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol.* marzo de 2002;31(2):84-92.
38. Devlin H, Karayianni K, Mitsea A, Jacobs R, Lindh C, van der Stelt P, et al. Diagnosing osteoporosis by using dental panoramic radiographs: The OSTEODENT project. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.* 1 de diciembre de 2007;104(6):821-8.
39. Chen Y, Yang S, Lovisa S, Ambrose CG, McAndrews KM, Sugimoto H, et al. Type-I collagen produced by distinct fibroblast lineages reveals specific function during embryogenesis and Osteogenesis Imperfecta. *Nat Commun.* 10 de diciembre de 2021;12(1):7199.
40. Baig MA, Bacha D. Histology, Bone. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [citado 22 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541132/>
41. Molenda M, Kolmas J. The Role of Zinc in Bone Tissue Health and Regeneration—a Review. *Biol Trace Elem Res.* 2023;201(12):5640-51.
42. Feng X. Chemical and Biochemical Basis of Cell-Bone Matrix Interaction in Health and Disease. *Curr Chem Biol.* 1 de mayo de 2009;3(2):189-96.
43. Sommerfeldt DW, Rubin CT. Biology of bone and how it orchestrates the form and function of the skeleton. *Eur Spine J.* octubre de 2001;10 Suppl 2(Suppl 2):S86-95.
44. Moreira CA, Dempster DW, Baron R. Anatomy and Ultrastructure of Bone – Histogenesis, Growth and Remodeling. En: Feingold KR, Anawalt B, Boyce A, Chrousos G, de Herder WW, Dungan K, et al., editores. Endotext [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000 [citado 23 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279149/>

45. Lefèvre E, Farlay D, Bala Y, Subtil F, Wolfram U, Rizzo S, et al. Compositional and mechanical properties of growing cortical bone tissue: a study of the human fibula. *Sci Rep*. 26 de noviembre de 2019;9:17629.
46. Rowe P, Koller A, Sharma S. Physiology, Bone Remodeling. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [citado 22 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499863/>
47. Posada AF, Aguirre HD, García Casallas JC, Lodoño Patiño JD, Valle Oñate R. Nuevas terapias en osteoporosis. *Rev Colomb Reumatol*. 1 de enero de 2016;23(1):34-43.
48. Breeland G, Sinkler MA, Menezes RG. Embryology, Bone Ossification. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [citado 22 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539718/>
49. Betts JG, Young KA, Wise JA, Johnson E, Poe B, Kruse DH, et al. 6.3 Bone Structure - Anatomy and Physiology 2e | OpenStax [Internet]. OpenStax; 2022 [citado 22 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology-2e/pages/6-3-bone-structure>
50. Delgado-Martos MJ, Touza Fernández A, Canillas F, Quintana-Villamandos B, Santos del Riego S, Delgado-Martos E, et al. Does the epiphyseal cartilage of the long bones have one or two ossification fronts? *Med Hypotheses*. octubre de 2013;81(4):695-700.
51. Cundy T, Reid I. Metabolic bone disease. En: Bangert WMS, editor. *Clinical Biochemistry Metabolic and Clinical Aspects*. Livingstone: NY Churchill; 1995. p. 507-32.
52. Kozielski M, Buchwald T, Szybowicz M, Błaszczak Z, Piotrowski A, Ciesielczyk B. Determination of composition and structure of spongy bone tissue in human head of femur by Raman spectral mapping. *J Mater Sci Mater Med*. 2011;22(7):1653-61.
53. Clarke B. Normal Bone Anatomy and Physiology. *Clin J Am Soc Nephrol*. noviembre de 2008;3(Suppl 3):S131-9.
54. Katsimbri P. The biology of normal bone remodelling. *Eur J Cancer Care (Engl)*. noviembre de 2017;26(6).
55. Betts JG, Young KA, Wise JA, Johnson E, Poe B, Kruse DH, et al. 6.2 Bone Classification - Anatomy and Physiology 2e | OpenStax [Internet]. OpenStax; 2022 [citado 22 de noviembre de 2023].

Disponible en: <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology-2e/pages/6-2-bone-classification>

56. Hart NH, Newton RU, Tan J, Rantalainen T, Chivers P, Siafarikas A, et al. Biological basis of bone strength: anatomy, physiology and measurement. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 1 de septiembre de 2020;20(3):347-71.
57. Chang B, Liu X. Osteon: Structure, Turnover, and Regeneration. *Tissue Eng Part B Rev*. abril de 2022;28(2):261-78.
58. Kim S, Macfarlane E, Seibel MJ, Zhou H. Bone Metabolism. En: Offermanns S, Rosenthal W, editores. *Encyclopedia of Molecular Pharmacology* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [citado 22 de noviembre de 2023]. p. 336-45. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57401-7_31
59. Young MF. Bone matrix proteins: more than markers. *Calcif Tissue Int*. enero de 2003;72(1):2-4.
60. Raina V. Normal osteoid tissue. *J Clin Pathol*. marzo de 1972;25(3):229-32.
61. MH R. Pawlina W. *Histology: A Text and Atlas*. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia; 2011.
62. Fernandez-Tresguerres-Hernandez-Gil I, Alobera-Gracia MA, del-Canto-Pingarron M, Blanco-Jerez L. Physiological bases of bone regeneration II. The remodeling process. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*. 2006;11(2):151-7.
63. Adams M. Functional anatomy of the musculoskeletal system. U: Standring S, ur. *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice*. Forty. New York: Elsevier Limited; 2016.
64. Gundberg CM. Matrix proteins. *Osteoporos Int*. septiembre de 2003;14 Suppl 5:S37-40; discussion S40-42.
65. Zoch ML, Clemens TL, Riddle RC. New Insights into the Biology of Osteocalcin. *Bone*. enero de 2016;82:42-9.
66. Neve A, Corrado A, Cantatore FP. Osteocalcin: skeletal and extra-skeletal effects. *J Cell Physiol*. junio de 2013;228(6):1149-53.
67. Norris DO, Carr JA. Chapter 14 - Regulation of calcium and phosphate homeostasis in vertebrates. En: Norris DO, Carr JA, editores. *Vertebrate Endocrinology (Sixth Edition)* [Internet]. San Diego: Academic Press; 2021 [citado 23 de noviembre de 2023]. p. 499-526.

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128200933000149>

68. Jeong J, Kim JH, Shim JH, Hwang NS, Heo CY. Bioactive calcium phosphate materials and applications in bone regeneration. *Biomater Res.* 14 de enero de 2019;23:4.
69. Stock SR. The Mineral–Collagen Interface in Bone. *Calcif Tissue Int.* septiembre de 2015;97(3):262-80.
70. LeGeros RZ. Properties of osteoconductive biomaterials: calcium phosphates. *Clin Orthop Relat Res.* febrero de 2002;(395):81-98.
71. Riancho J, González J. Manual práctico de osteoporosis y enfermedades del metabolismo mineral. Hospital Universitario Marqués de Valdecilla Santander. 2004.
72. Bonjour JP. Calcium and phosphate: a duet of ions playing for bone health. *J Am Coll Nutr.* octubre de 2011;30(5 Suppl 1):438S-48S.
73. Baron R. General principles of bone biology. En: Favus MJ, editor. *Primer on the metabolic bone disease and disorders of mineral metabolism.* Washington D.C: American Society for Bone Mineral Research; 2003. p. 1-8.
74. Bilezikian JP, Martin TJ, Clemens TL, Rosen C. *Principles of Bone Biology.* Academic Press; 2019. 2034 p.
75. Camozzi V, Vescini F, Luisetto G, Moro L. Bone organic matrix components: their roles in skeletal physiology. *J Endocrinol Invest.* 2010;33(7 Suppl):13-5.
76. Nahian A, Davis DD. Histology, Osteoprogenitor Cells. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [citado 23 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559160/>
77. Masi L, Brandi ML. Physiopathological basis of bone turnover. *Q J Nucl Med.* marzo de 2001;45(1):2-6.
78. Rutkovskiy A, Stensløykken KO, Vaage IJ. Osteoblast Differentiation at a Glance. *Med Sci Monit Basic Res.* 26 de septiembre de 2016;22:95-106.
79. Khotib J, Marhaeny HD, Miatmoko A, Budiadin AS, Ardianto C, Rahmadi M, et al. Differentiation of osteoblasts: the links between

- essential transcription factors. *J Biomol Struct Dyn*. noviembre de 2023;41(19):10257-76.
80. Amarasekara DS, Kim S, Rho J. Regulation of Osteoblast Differentiation by Cytokine Networks. *International Journal of Molecular Sciences*. enero de 2021;22(6):2851.
 81. Qi H, Aguiar DJ, Williams SM, La Pean A, Pan W, Verfaillie CM. Identification of genes responsible for osteoblast differentiation from human mesodermal progenitor cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 18 de marzo de 2003;100(6):3305-10.
 82. Ducy P, Zhang R, Geoffroy V, Ridall AL, Karsenty G. *Osf2/Cbfa1*: A transcriptional activator of osteoblast differentiation. *Cell*. 1997;89(5):747-54.
 83. Diomede F, Marconi GD, Fonticoli L, Pizzicanella J, Merciaro I, Bramanti P, et al. Functional Relationship between Osteogenesis and Angiogenesis in Tissue Regeneration. *Int J Mol Sci*. 3 de mayo de 2020;21(9):3242.
 84. Mackie EJ. Osteoblasts: novel roles in orchestration of skeletal architecture. *Int J Biochem Cell Biol*. septiembre de 2003;35(9):1301-5.
 85. Henry JP, Bordoni B. Histology, Osteoblasts. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [citado 23 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557792/>
 86. Jilka RL, Weinstein RS, Bellido T, Parfitt AM, Manolagas SC. Osteoblast programmed cell death (apoptosis): modulation by growth factors and cytokines. *J Bone Miner Res*. mayo de 1998;13(5):793-802.
 87. Rosenberg N, Rosenberg O, Soudry M. Osteoblasts in bone physiology-mini review. *Rambam Maimonides Med J*. abril de 2012;3(2):e0013.
 88. Matic I, Matthews BG, Wang X, Dymant NA, Worthley DL, Rowe DW, et al. Quiescent Bone Lining Cells Are a Major Source of Osteoblasts During Adulthood. *Stem Cells*. diciembre de 2016;34(12):2930-42.
 89. Bignon A, Chouteau J, Chevalier J, Fantozzi G, Carret JP, Chavassieux P, et al. Effect of micro- and macroporosity of bone substitutes on their mechanical properties and cellular response. *J Mater Sci Mater Med*. diciembre de 2003;14(12):1089-97.

90. Mohamed AM. An Overview of Bone Cells and their Regulating Factors of Differentiation. *Malays J Med Sci.* enero de 2008;15(1):4-12.
91. Maciel GBM, Maciel RM, Danesi CC. Bone cells and their role in physiological remodeling. *Mol Biol Rep.* 1 de marzo de 2023;50(3):2857-63.
92. Martinez E, Luna F, Peña A. Manual de osteoporosis. Madrid: EdikaMed, SL. 2013.
93. Palumbo C, Ferretti M. The Osteocyte: From «Prisoner» to «Orchestrator». *J Funct Morphol Kinesiol.* 17 de marzo de 2021;6(1):28.
94. Knothe Tate ML, Adamson JR, Tami AE, Bauer TW. The osteocyte. *Int J Biochem Cell Biol.* enero de 2004;36(1):1-8.
95. Robling AG, Bonewald LF. The Osteocyte: New Insights. *Annu Rev Physiol.* 10 de febrero de 2020;82:485-506.
96. Schaffler MB, Cheung WY, Majeska R, Kennedy O. Osteocytes: master orchestrators of bone. *Calcif Tissue Int.* enero de 2014;94(1):5-24.
97. Aarden EM, Burger EH, Nijweide PJ. Function of osteocytes in bone. *Journal of cellular biochemistry.* 1994;55(3):287-99.
98. Alberts B, Johnson AD, Lewis J, Morgan D, Raff MC, Roberts K, et al. *Biología molecular de la célula* [Internet]. 2016 [citado 23 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=697830>
99. Bonewald LF. The Role of the Osteocyte in Bone and Non-bone Disease. *Endocrinol Metab Clin North Am.* marzo de 2017;46(1):1-18.
100. Teitelbaum SL. Bone resorption by osteoclasts. *Science.* 1 de septiembre de 2000;289(5484):1504-8.
101. Soysa NS, Alles N. Osteoclast function and bone-resorbing activity: An overview. *Biochem Biophys Res Commun.* 29 de julio de 2016;476(3):115-20.
102. McDonald MM, Kim AS, Mulholland BS, Rauner M. New Insights Into Osteoclast Biology. *JBMR Plus.* 30 de agosto de 2021;5(9):e10539.
103. Föger-Samwald U, Dovjak P, Azizi-Semrad U, Kerschman-Schindl K, Pietschmann P. Osteoporosis: Pathophysiology and therapeutic options. *EXCLI J.* 20 de julio de 2020;19:1017-37.

104. Everts V, Delaissé JM, Korper W, Jansen DC, Tigchelaar-Gutter W, Saftig P, et al. The Bone Lining Cell: Its Role in Cleaning Howship's Lacunae and Initiating Bone Formation. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2002;17(1):77-90.
105. Delaisse JM, Søre K, Andersen TL, Rojek AM, Marcussen N. The Mechanism Switching the Osteoclast From Short to Long Duration Bone Resorption. *Front Cell Dev Biol*. 30 de marzo de 2021;9:644503.
106. Hadjidakis DJ, Androulakis I. Bone remodeling. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2006;1092:385-96.
107. Kenkre JS, Bassett J. The bone remodelling cycle. *Ann Clin Biochem*. mayo de 2018;55(3):308-27.
108. Bolamperti S, Villa I, Rubinacci A. Bone remodeling: an operational process ensuring survival and bone mechanical competence. *Bone Res*. 18 de julio de 2022;10(1):48.
109. Arias CF, Herrero MA, Echeverri LF, Oleaga GE, López JM. Bone remodeling: A tissue-level process emerging from cell-level molecular algorithms. *PLoS One*. 2018;13(9):e0204171.
110. Parfitt AM. Targeted and nontargeted bone remodeling: relationship to basic multicellular unit origination and progression. *Bone*. enero de 2002;30(1):5-7.
111. Aranza Perea JR, Ceberio Balda F, Laparte Escorza C, Rodil Fraile R. Del ensayo clínico a la práctica clínica diaria en la atención al paciente. *Ibandronato y alteraciones óseas*. Madrid; 2012.
112. Fang H, Deng Z, Liu J, Chen S, Deng Z, Li W. The Mechanism of Bone Remodeling After Bone Aging. *Clin Interv Aging*. 5 de abril de 2022;17:405-15.
113. Corrado A, Cici D, Rotondo C, Maruotti N, Cantatore FP. Molecular Basis of Bone Aging. *Int J Mol Sci*. 23 de mayo de 2020;21(10):3679.
114. Wolff J. *Das gesetz der transformation der knochem*. Verlag von August Hirschwald. 1892.
115. Giorgio I, dell'Isola F, Andreaus U, Misra A. An orthotropic continuum model with substructure evolution for describing bone remodeling: an interpretation of the primary mechanism behind Wolff's law. *Biomech Model Mechanobiol*. 2023;22(6):2135-52.
116. Cornelis MA, Tepedino M, Riis N de V, Niu X, Cattaneo PM. Treatment effect of bone-anchored maxillary protraction in growing patients

- compared to controls: a systematic review with meta-analysis. *Eur J Orthod.* 29 de enero de 2021;43(1):51-68.
117. Chandra A, Rajawat J. Skeletal Aging and Osteoporosis: Mechanisms and Therapeutics. *Int J Mol Sci.* 29 de marzo de 2021;22(7):3553.
118. Seeman E, Delmas PD. Bone quality - The material and structural basis of bone strength and fragility. *New England Journal of Medicine.* 2006;354(21):2250-2261+2212.
119. Tseng YC, Tsai CC, Cheng JH, Chou ST, Pan CY, Chen PH, et al. Recognizing the peak bone mass (age 30) as a cutoff point to achieve the success of orthodontic implants. *Odontology.* julio de 2020;108(3):503-10.
120. Sipilä S, Törmäkangas T, Sillanpää E, Aukee P, Kujala UM, Kovanen V, et al. Muscle and bone mass in middle-aged women: role of menopausal status and physical activity. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* junio de 2020;11(3):698-709.
121. McGarry KA, Kiel DP. Postmenopausal osteoporosis. Strategies for preventing bone loss, avoiding fracture. *Postgrad Med.* 1 de septiembre de 2000;108(3):79-82, 85-8, 91.
122. Møller AMJ, Delaissé JM, Olesen JB, Madsen JS, Canto LM, Bechmann T, et al. Aging and menopause reprogram osteoclast precursors for aggressive bone resorption. *Bone Res.* 1 de julio de 2020;8(1):1-11.
123. Javaheri B, Pitsillides AA. Aging and Mechanoadaptive Responsiveness of Bone. *Curr Osteoporos Rep.* 2019;17(6):560-9.
124. Karlamangla AS, Burnett-Bowie SAM, Crandall CJ. Bone Health during the Menopause Transition and Beyond. *Obstet Gynecol Clin North Am.* diciembre de 2018;45(4):695-708.
125. Pouillès JM, Trémollières F, Bonneu M, Ribot C. Influence of early age at menopause on vertebral bone mass. *J Bone Miner Res.* marzo de 1994;9(3):311-5.
126. Jonasson G, Billhult A. Mandibular bone structure, bone mineral density, and clinical variables as fracture predictors: a 15-year follow-up of female patients in a dental clinic. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology.* 1 de septiembre de 2013;116(3):362-8.
127. Shevroja E, Cafarelli FP, Guglielmi G, Hans D. DXA parameters, Trabecular Bone Score (TBS) and Bone Mineral Density (BMD), in

fracture risk prediction in endocrine-mediated secondary osteoporosis. *Endocrine*. octubre de 2021;74(1):20-8.

128. Karunanithi R, Ganesan S, Panicker TMR, Korath MP, Jagadeesan K. Assessment of bone mineral density by DXA and the trabecular microarchitecture of the calcaneum by texture analysis in pre- and postmenopausal women in the evaluation of osteoporosis. *J Med Phys*. octubre de 2007;32(4):161-8.
129. Horner K, Devlin H, Alsop CW, Hodgkinson IM, Adams JE. Mandibular bone mineral density as a predictor of skeletal osteoporosis. *Br J Radiol*. noviembre de 1996;69(827):1019-25.
130. Bozic M, Ihan Hren N. Osteoporosis and mandibles. *Dentomaxillofac Radiol*. mayo de 2006;35(3):178-84.
131. Jonasson G. Bone mass and trabecular pattern in the mandible as an indicator of skeletal osteopenia: a 10-year follow-up study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. agosto de 2009;108(2):284-91.
132. Khojastepour L, Hasani M, Ghasemi M, Mehdizadeh AR, Tajeripour F. Mandibular Trabecular Bone Analysis Using Local Binary Pattern for Osteoporosis Diagnosis. *J Biomed Phys Eng*. febrero de 2019;9(1):81-8.
133. Suzuki T, Katsumata A, Mastumoto Y, Komatu M, Oomura Y, Okamura M, et al. Features of mandibular cortical bone morphology in osteoporotic fracture patients. *Oral Radiol*. octubre de 2022;38(4):550-7.
134. Bianchi A, Sanfilippo F. Osteoporosis: the effect on mandibular bone resorption and therapeutic possibilities by means of implant prostheses. *Int J Periodontics Restorative Dent*. junio de 2002;22(3):231-9.
135. Ledgerton D, Horner K, Devlin H, Worthington H. Radiomorphometric indices of the mandible in a British female population. *Dentomaxillofac Radiol*. mayo de 1999;28(3):173-81.
136. Govindraju P, Chandra P. Radiomorphometric Indices of the Mandible – An Indicator of Osteoporosis. *J Clin Diagn Res*. marzo de 2014;8(3):195-8.
137. Erdelyi RA, Duma VF, Sinescu C, Dobre GM, Bradu A, Podoleanu A. Dental Diagnosis and Treatment Assessments: Between X-rays Radiography and Optical Coherence Tomography. *Materials (Basel)*. 28 de octubre de 2020;13(21):4825.

138. Tounta TS. Diagnosis of osteoporosis in dental patients. *J Frailty Sarcopenia Falls*. 1 de junio de 2017;2(2):21-7.
139. Triantafyllopoulos G, Mitsea A, Rontogianni A, Korres D. Osteoporosis Screening Using Dental Panoramic Radiographs and Age at Menarche. *Diagnostics (Basel)*. 24 de febrero de 2023;13(5):881.
140. Drozdowska B, Pluskiewicz W, Tarnawska B. Panoramic-based mandibular indices in relation to mandibular bone mineral density and skeletal status assessed by dual energy X-ray absorptiometry and quantitative ultrasound. *Dentomaxillofac Radiol*. noviembre de 2002;31(6):361-7.
141. Kavitha MS, Asano A, Taguchi A, Kurita T, Sanada M. Diagnosis of osteoporosis from dental panoramic radiographs using the support vector machine method in a computer-aided system. *BMC Med Imaging*. 16 de enero de 2012;12:1.
142. Munhoz L, Morita L, Nagai AY, Moreira J, Arita ES. Mandibular cortical index in the screening of postmenopausal at low mineral density risk: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*. 1 de mayo de 2021;50(4):20200514.
143. Kinalski MA, Boscato N, Damian MF. The accuracy of panoramic radiography as a screening of bone mineral density in women: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*. febrero de 2020;49(2):20190149.
144. Horner K, Devlin H, Harvey L. Detecting patients with low skeletal bone mass. *J Dent*. mayo de 2002;30(4):171-5.
145. Richy F, Gourlay M, Ross PD, Sen SS, Radican L, De Ceulaer F, et al. Validation and comparative evaluation of the osteoporosis self-assessment tool (OST) in a Caucasian population from Belgium. *QJM*. enero de 2004;97(1):39-46.
146. Pongchaiyakul C, Nguyen ND, Eisman JA, Nguyen TV. Clinical risk indices, prediction of osteoporosis, and prevention of fractures: diagnostic consequences and costs. *Osteoporos Int*. noviembre de 2005;16(11):1444-50.
147. Johari Khatoonabad M, Aghamohammadzade N, Taghilu H, Esmaili F, Jabbari Khamnei H. Relationship Among Panoramic Radiography Findings, Biochemical Markers of Bone Turnover and Hip BMD in the Diagnosis of Postmenopausal Osteoporosis. *Iran J Radiol*. marzo de 2011;8(1):23-8.

148. Barnkgkei I, Halboub E, Almashraqi AA, Khattab R, Al Haffar I. IDIOS: An innovative index for evaluating dental imaging-based osteoporosis screening indices. *Imaging Sci Dent.* septiembre de 2016;46(3):185-202.
149. Papamantinos M, Varitimidis S, Dailiana Z, Kogia E, Malizos K. Computer-assisted evaluation of Mandibular Cortical Width (MCW) index as an indicator of osteoporosis. *Hippokratia.* 2014;18(3):251-7.
150. Jonasson G, Hassani-Nejad A, Hakeberg M. Mandibular cortical bone structure as risk indicator in fractured and non-fractured 80-year-old men and women. *BMC Oral Health.* 24 de septiembre de 2021;21:468.
151. Sedrine WB, Chevallier T, Zegels B, Kvasz A, Micheletti MC, Gelas B, et al. Development and assessment of the Osteoporosis Index of Risk (OSIRIS) to facilitate selection of women for bone densitometry. *Gynecol Endocrinol.* junio de 2002;16(3):245-50.
152. Lee K, Taguchi A, Ishii K, Sueti Y, Fujita M, Nakamoto T, et al. Visual assessment of the mandibular cortex on panoramic radiographs to identify postmenopausal women with low bone mineral densities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* agosto de 2005;100(2):226-31.
153. Dagistan S, Bilge O. Comparison of antegonial index, mental index, panoramic mandibular index and mandibular cortical index values in the panoramic radiographs of normal males and male patients with osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol.* julio de 2010;39(5):290-4.
154. Teterina A, Niratisairak S, Morseth B, Bolstad N. General and local predictors of mandibular cortical bone morphology in adult females and males: the seventh survey of the Tromsø Study. *Clin Oral Invest.* 1 de noviembre de 2023;27(11):6577-87.
155. Horner K, Devlin H. The relationships between two indices of mandibular bone quality and bone mineral density measured by dual energy X-ray absorptiometry. *Dentomaxillofac Radiol.* enero de 1998;27(1):17-21.
156. Klemetti E, Kolmakov S, Kröger H. Pantomography in assessment of the osteoporosis risk group. *Scand J Dent Res.* febrero de 1994;102(1):68-72.
157. Jagelavičienė E, Krasauskienė A, Žalinkevičius R, Vaitkevičienė I, Kubilius R. Relationship between the mandibular cortical index and

- calcaneal bone mineral density in postmenopausal women. *Medicina (Kaunas)*. 2016;52(2):125-31.
158. Gourlay ML, Miller WC, Richy F, Garrett JM, Hanson LC, Reginster JY. Performance of osteoporosis risk assessment tools in postmenopausal women aged 45-64 years. *Osteoporos Int*. agosto de 2005;16(8):921-7.
159. Curiel MD, Carbonell C, Quesada Lopez JM. Osteoporosis in Spain: map of resources for diagnosing. *J Clin Densitom*. 2008;11(4):561-7.
160. Guerra-García MM, Rodríguez-Fernández JB, Puga-Sarmiento E, Charle-Crespo MÁ, Gomes-Carvalho CS, Prejigueiro-Santás A. [Incidence of hip fractures due to osteoporosis in relation to the prescription of drugs for their prevention and treatment in Galicia, Spain]. *Aten Primaria*. febrero de 2011;43(2):82-8.
161. NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA*. 14 de febrero de 2001;285(6):785-95.
162. Pedrera Zamorano JD, Bote Mohedano JL, Lavado García JM, Rodríguez Domínguez MT, Hernández Díaz ER, Rico Lenza H. [Incidence and prevalence of hip fractures in the province of Cáceres and their evolutionary trend]. *Rev Clin Esp*. septiembre de 2004;204(9):448-51.
163. Kanis JA. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report. WHO Study Group. *Osteoporos Int*. noviembre de 1994;4(6):368-81.
164. Kanis JA, Glüer CC, for the Committee of Scientific Advisors IOF. An Update on the Diagnosis and Assessment of Osteoporosis with Densitometry. *Osteoporos Int*. 1 de marzo de 2000;11(3):192-202.
165. Calciolari E, Donos N, Park JC, Petrie A, Mardas N. Panoramic measures for oral bone mass in detecting osteoporosis: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res*. marzo de 2015;94(3 Suppl):17S-27S.
166. López-López J, Estrugo-Devesa A, Jane-Salas E, Ayuso-Montero R, Gómez-Vaquero C. Early diagnosis of osteoporosis by means of orthopantomograms and oral x-rays: a systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 1 de noviembre de 2011;16(7):e905-913.
167. Devlin H. Identification of the risk for osteoporosis in dental patients. *Dent Clin North Am*. octubre de 2012;56(4):847-61.

168. Taguchi A, Tsuda M, Ohtsuka M, Kodama I, Sanada M, Nakamoto T, et al. Use of dental panoramic radiographs in identifying younger postmenopausal women with osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2006;17(3):387-94.
169. Cakur B, Dagistan S, Sahin A, Harorli A, Yilmaz A. Reliability of mandibular cortical index and mandibular bone mineral density in the detection of osteoporotic women. *Dentomaxillofac Radiol*. julio de 2009;38(5):255-61.
170. Li N, Jing H, Li J, Zhou F, Bu L, Yang X. Study of mandible bone mineral density of Chinese adults by dual-energy X-ray absorptiometry. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1 de noviembre de 2011;40(11):1275-9.
171. Pluskiewicz W, Tarnawska B, Drozdowska B. Mandibular bone mineral density measured using dual-energy X-ray absorptiometry: relationship to hip bone mineral density and quantitative ultrasound at calcaneus and hand phalanges. *Br J Radiol*. marzo de 2000;73(867):288-92.
172. Gauld LM, Kappers J, Carlin JB, Robertson CF. Prediction of childhood pulmonary function using ulna length. *Am J Respir Crit Care Med*. 1 de octubre de 2003;168(7):804-9.
173. Ahmed ML, Yudkin PL, Macfarlane JA, McPherson K, Dunger DB. Are measurements of height made by health visitors sufficiently accurate for routine screening of growth? *Arch Dis Child*. diciembre de 1990;65(12):1345-8.
174. Berrington de Gonzalez A, Hartge P, Cerhan JR, Flint AJ, Hannan L, MacInnis RJ, et al. Body-mass index and mortality among 1.46 million white adults. *N Engl J Med*. 2 de diciembre de 2010;363(23):2211-9.
175. National Institutes of Health (NIH) [Internet]. 2015 [citado 27 de noviembre de 2023]. NIH study identifies ideal body mass index. Disponible en: <https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-study-identifies-ideal-body-mass-index>
176. Haseltine KN, Chukir T, Smith PJ, Jacob JT, Bilezikian JP, Farooki A. Bone Mineral Density: Clinical Relevance and Quantitative Assessment. *J Nucl Med*. abril de 2021;62(4):446-54.
177. Lewiecki EM. Osteoporosis: Clinical Evaluation. En: Endotext [Internet] [Internet]. MDText.com, Inc.; 2021 [citado 29 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK279049/>

178. Adult Positions [Internet]. ISCD. [citado 18 de enero de 2024]. Disponible en: <https://iscd.org/learn/official-positions/adult-positions/>
179. Malavolta N, Mule R, Frigato M. Quantitative ultrasound assessment of bone. *Aging Clin Exp Res.* junio de 2004;16 Suppl(3):23-8.
180. Chin KY, Ima-Nirwana S. Calcaneal Quantitative Ultrasound as a Determinant of Bone Health Status: What Properties of Bone Does It Reflect? *Int J Med Sci.* 25 de octubre de 2013;10(12):1778-83.
181. Métrailler A, Hans D, Lamy O, Rodriguez EG, Shevroja E. Heel quantitative ultrasound (QUS) predicts incident fractures independently of trabecular bone score (TBS), bone mineral density (BMD), and FRAX: the OsteoLaus Study. *Osteoporosis International.* 2023;34(8):1401.
182. Stagi S, Cavalli L, Cavalli T, de Martino M, Brandi ML. Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) for the assessment of bone strength in most of bone affecting conditions in developmental age: a review. *Ital J Pediatr.* 26 de septiembre de 2016;42(1):88.
183. Engelke K, Adams JE, Armbrecht G, Augat P, Bogado CE, Bouxsein ML, et al. Clinical use of quantitative computed tomography and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: the 2007 ISCD Official Positions. *J Clin Densitom.* 2008;11(1):123-62.
184. Ashe MC, Khan KM, Kontulainen SA, Guy P, Liu D, Beck TJ, et al. Accuracy of pQCT for evaluating the aged human radius: an ashing, histomorphometry and failure load investigation. *Osteoporos Int.* 2006;17(8):1241-51.
185. Ashby RL, Ward KA, Roberts SA, Edwards L, Mughal MZ, Adams JE. A reference database for the Stratec XCT-2000 peripheral quantitative computed tomography (pQCT) scanner in healthy children and young adults aged 6-19 years. *Osteoporos Int.* agosto de 2009;20(8):1337-46.
186. Cervinka T, Giangregorio L, Sievanen H, Cheung AM, Craven BC. Peripheral Quantitative Computed Tomography: Review of Evidence and Recommendations for Image Acquisition, Analysis, and Reporting, Among Individuals With Neurological Impairment. *J Clin Densitom.* 2018;21(4):563-82.
187. Chandak LG, Lohe VK, Bhowate RR, Gandhi KP, Vyas NV. Correlation of periodontitis with mandibular radiomorphometric indices, serum

- calcium and serum estradiol in postmenopausal women: A case-control study. *Indian Journal of Dental Research*. 2017;28(4):388-94.
188. Tofangchiha M, Khorasani M, Shokrimozhdehi M, Javadi A. Diagnosis of osteoporosis using cortex mandibular indices based on cortex thickness and morphology in comparison with visual assessment of the cortex. *Journal of Craniomaxillofacial Research*. 22 de julio de 2017;345-51.
189. Passos JS, Gomes Filho IS, Sarmiento VA, Sampaio DS, Gonçalves FP, Coelho JMF, et al. Women with low bone mineral density and dental panoramic radiography. *Menopause*. junio de 2012;19(6):704-9.
190. Vlasidis KZ, Skouteris CA, Velegrakis GA, Fragouli I, Neratzoulakis JM, Damilakis J, et al. Mandibular radiomorphometric measurements as indicators of possible osteoporosis in postmenopausal women. *Maturitas*. 20 de noviembre de 2007;58(3):226-35.
191. Aliaga I, Vera V, Vera M, García E, Pedrera M, Pajares G. Automatic computation of mandibular indices in dental panoramic radiographs for early osteoporosis detection. *Artif Intell Med*. marzo de 2020;103:101816.
192. Taguchi A. Panoramic radiographs for identifying individuals with undetected osteoporosis. *Japanese Dental Science Review*. 2009;45(2):109-20.
193. Muramatsu C, Horiba K, Hayashi T, Fukui T, Hara T, Katsumata A, et al. Quantitative assessment of mandibular cortical erosion on dental panoramic radiographs for screening osteoporosis. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 2016;11(11):2021-32.
194. Benson BW, Prihoda TJ, Glass BJ. Variations in adult cortical bone mass as measured by a panoramic mandibular index. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1991;71(3):349-56.
195. Ledgerton D, Horner K, Devlin H. Osteoporosis research: A dental perspective. *Radiography*. 1997;3(4):265-77.
196. Klemetti E, Kolmakow S. Morphology of the mandibular cortex on panoramic radiographs as an indicator of bone quality. *Dentomaxillofacial Radiology*. 1997;26(1):22-5.
197. Sindhu YU, Samatha Y, Ravikiran A, Swamy PR, Nayyar AS, Kartheeki B. Digital Panoramic Radiography: An Aid in the Early Detection of Osteoporotic Signs. *Archives of Medicine and Health Sciences*. diciembre de 2016;4(2):205.

198. Halling A, Persson GR, Berglund J, Johansson O, Renvert S. Comparison between the Klemetti index and heel DXA BMD measurements in the diagnosis of reduced skeletal bone mineral density in the elderly. *Osteoporos Int.* agosto de 2005;16(8):999-1003.
199. Inc TM. MATLAB version: 9.13.0 (R2022b) [Internet]. Natick, Massachusetts, United States: The MathWorks Inc.; 2022. Disponible en: <https://www.mathworks.com>
200. Sellke T, Bayarri MJ, Berger JO. Calibration of p Values for Testing Precise Null Hypotheses. *The American Statistician.* 2001;55(1):62-71.
201. Sharma N, Reche A. Unraveling the Relationship Between Osteoporosis, Treatment Modalities, and Oral Health: A Comprehensive Review. *Cureus.* noviembre de 2023;15(11):e49399.
202. Anil S, Preethanath RS, AlMoharib HS, Kamath KP, Anand PS. Impact of osteoporosis and its treatment on oral health. *Am J Med Sci.* noviembre de 2013;346(5):396-401.
203. Vera V, Moran JM, Barros P, Canal-Macias ML, Guerrero-Bonmatty R, Costa-Fernandez C, et al. Greater calcium intake is associated with better bone health measured by quantitative ultrasound of the phalanges in pediatric patients treated with anticonvulsant drugs. *Nutrients.* 2015;7(12):9908-17.
204. Hans D, Métrailler A, Gonzalez Rodriguez E, Lamy O, Shevroja E. Quantitative Ultrasound (QUS) in the Management of Osteoporosis and Assessment of Fracture Risk: An Update. *Adv Exp Med Biol.* 2022;1364:7-34.
205. Grocholewicz K, Janiszewska-Olszowska J, Aniko-Włodarczyk M, Preuss O, Trybek G, Sobolewska E, et al. Panoramic radiographs and quantitative ultrasound of the radius and phalanx III to assess bone mineral status in postmenopausal women. *BMC Oral Health.* 28 de julio de 2018;18(1):127.
206. Klemetti E, Kolmakov S, Heiskanen P, Vainio P, Lassila V. Panoramic mandibular index and bone mineral densities in postmenopausal women. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* junio de 1993;75(6):774-9.
207. Gulsahi A. Osteoporosis and jawbones in women. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015;5(4):263-7.
208. Hériveaux Y, Vayron R, Fraulob M, Lomami HA, Lenormand C, Haïat G. Assessment of dental implant stability using resonance frequency

- analysis and quantitative ultrasound methods. *J Prosthodont Res.* 21 de agosto de 2021;65(3):421-7.
209. Beattie A, Cournane S, Finucane C, Walsh JB, Stassen LFA. Quantitative Ultrasound of the Mandible as a Novel Screening Approach for Osteoporosis. *J Clin Densitom.* 2018;21(1):110-8.
210. Yen CC, Lin WC, Wang TH, Chen GF, Chou DY, Lin DM, et al. Pre-screening for osteoporosis with calcaneus quantitative ultrasound and dual-energy X-ray absorptiometry bone density. *Sci Rep.* 3 de agosto de 2021;11(1):15709.
211. Thomsen K, Jepsen DB, Matzen L, Hermann AP, Masud T, Ryg J. Is calcaneal quantitative ultrasound useful as a prescreen stratification tool for osteoporosis? *Osteoporos Int.* mayo de 2015;26(5):1459-75.
212. Flöter M, Bittar CK, Zabeu JL, Carneiro AC. Review of comparative studies between bone densitometry and quantitative ultrasound of the calcaneus in osteoporosis. *Acta Reumatol Port.* 2011;36(4):327-35.
213. Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Cooper C, Rizzoli R, Reginster JY. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporosis International.* 2013;24(1):23-57.
214. Taguchi A, Ohtsuka M, Nakamoto T, Sueti Y, Kudo Y, Tanimoto K, et al. Detection of post-menopausal women with low bone mineral density and elevated biochemical markers of bone turnover by panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol.* diciembre de 2008;37(8):433-7.
215. Bodade PR, Mody RN. Panoramic radiography for screening postmenopausal osteoporosis in India: a pilot study. *Oral Health Dent Manag.* junio de 2013;12(2):65-72.
216. Ishii K, Taguchi A, Nakamoto T, Ohtsuka M, Sutthiprapaporn P, Tsuda M, et al. Diagnostic efficacy of alveolar bone loss of the mandible for identifying postmenopausal women with femoral osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol.* enero de 2007;36(1):28-33.
217. Nagi R, Devi B K Y, Rakesh N, Reddy SS, Santana N, Shetty N. Relationship between femur bone mineral density, body mass index and dental panoramic mandibular cortical width in diagnosis of elderly postmenopausal women with osteoporosis. *J Clin Diagn Res.* agosto de 2014;8(8):ZC36-40.

218. Taguchi A, Asano A, Ohtsuka M, Nakamoto T, Suei Y, Tsuda M, et al. Observer performance in diagnosing osteoporosis by dental panoramic radiographs: results from the osteoporosis screening project in dentistry (OSPD). *Bone*. julio de 2008;43(1):209-13.
219. Licks R, Licks V, Ourique F, Radke Bittencourt H, Fontanella V. Development of a prediction tool for low bone mass based on clinical data and periapical radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. mayo de 2010;39(4):224-30.
220. Vieira MCC, Dias YV, Freitas SAP. O uso da ultrassonografia na Odontologia: Uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*. 7 de noviembre de 2023;12(11):e143121143903-e143121143903.
221. Motta ACF, de Macedo LD, Santos GG, Guerreiro CT, Ferrari T, de Oliveira TFL, et al. Quantitative ultrasound at the hand phalanges in patients with bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws. *Braz Oral Res*. 2015;29(1):S1806-83242015000100301.
222. Thorpe JA, Steel SA. The DXL Calscan heel densitometer: evaluation and diagnostic thresholds. *Br J Radiol*. abril de 2006;79(940):336-41.
223. Okabe S, Morimoto Y, Ansai T, Yoshioka I, Tanaka T, Taguchi A, et al. Assessment of the relationship between the mandibular cortex on panoramic radiographs and the risk of bone fracture and vascular disease in 80-year-olds. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. septiembre de 2008;106(3):433-42.
224. Ohtsuki H, Kawakami M, Kawakami T, Takahashi K, Kirita T, Komasa Y. Risk of osteoporosis in elderly individuals attending a dental clinic. *Int Dent J*. abril de 2017;67(2):117-22.
225. Lambert JK, Zaidi M, Mechanick JI. Male osteoporosis: epidemiology and the pathogenesis of aging bones. *Curr Osteoporos Rep*. diciembre de 2011;9(4):229-36.
226. Szulc P, Delmas PD. Bone loss in elderly men: increased endosteal bone loss and stable periosteal apposition. The prospective MINOS study. *Osteoporos Int*. abril de 2007;18(4):495-503.
227. Kribbs PJ. Comparison of mandibular bone in normal and osteoporotic women. *J Prosthet Dent*. febrero de 1990;63(2):218-22.
228. Bollen AM, Taguchi A, Hujoel PP, Hollender LG. Number of teeth and residual alveolar ridge height in subjects with a history of self-reported osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*. diciembre de 2004;15(12):970-4.

229. Geary S, Selvi F, Chuang SK, August M. Identifying dental panoramic radiograph features for the screening of low bone mass in postmenopausal women. *Int J Oral Maxillofac Surg.* marzo de 2015;44(3):395-9.
230. Jiang GZ, Matsumoto H, Hori M, Gunji A, Hakozaiki K, Akimoto Y, et al. Correlation among geometric, densitometric, and mechanical properties in mandible and femur of osteoporotic rats. *J Bone Miner Metab.* 2008;26(2):130-7.
231. Kimura E, Nishioka T, Hasegawa K, Maki K. Effects of bisphosphonate on the mandible of rats in the growing phase with steroid-induced osteoporosis. *Oral Dis.* noviembre de 2007;13(6):544-9.
232. Bozzini C, Champin G, Alippi RM, Bozzini CE. Effect of dexamethasone on mandibular bone biomechanics in rats during the growth phase as assessed by bending test and peripheral quantitative computerized tomography. *Acta Odontol Latinoam.* abril de 2015;28(1):83-8.
233. Maki K, Nishida I, Kimura M. The effect of oral ipriflavone on the rat mandible during growth. *Eur J Orthod.* febrero de 2005;27(1):27-31.
234. Jiang G, Matsumoto H, Yamane J, Kuboyama N, Akimoto Y, Fujii A. Prevention of trabecular bone loss in the mandible of ovariectomized rats. *J Oral Sci.* junio de 2004;46(2):75-85.
235. Kuroda S, Mukohyama H, Kondo H, Aoki K, Ohya K, Ohyama T, et al. Bone mineral density of the mandible in ovariectomized rats: analyses using dual energy X-ray absorptiometry and peripheral quantitative computed tomography. *Oral Dis.* enero de 2003;9(1):24-8.
236. Montangero VE, Capiglioni R, Roldán EJA. Mandible and maxilla bone mineral density and threshold analysis studies by pQCT in two edentulous women receiving pamidronate. *Cranio.* abril de 2003;21(2):110-5.
237. Du X, Jiao J, Cheng X, Wang L, Li K, Liu H, et al. Age-related changes of bone mineral density in mandible by quantitative computed tomography. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2017;31(4):997-1003.
238. Groen JJ, Duyvensz F, Halsted JA. Diffuse alveolar atrophy of the jaw (non-inflammatory form of paradental disease) and pre-senile osteoporosis. *Gerontol Clin (Basel).* 1960;2:68-86.
239. Cummings SR, Marcus R, Palermo L, Ensrud KE, Genant HK. Does estimating volumetric bone density of the femoral neck improve the

- prediction of hip fracture? A prospective study. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *J Bone Miner Res.* septiembre de 1994;9(9):1429-32.
240. Arifin AZ, Asano A, Taguchi A, Nakamoto T, Ohtsuka M, Tsuda M, et al. Computer-aided system for measuring the mandibular cortical width on dental panoramic radiographs in identifying postmenopausal women with low bone mineral density. *Osteoporos Int.* 2006;17(5):753-9.
241. Cakur B, Dağistan S, Sümbüllü MA. No correlation between mandibular and non-mandibular measurements in osteoporotic men. *Acta Radiol.* septiembre de 2010;51(7):789-92.
242. Gulsahi A, Paksoy C, Ozden S, Kucuk N, Cebeci A, Genc Y. Assessment of bone mineral density in the jaws and its relationship to radiomorphometric indices. *Dentomaxillofac Radiol.* julio de 2010;39(5):284-9.
243. Jonasson G, Jonasson L, Kiliaridis S. Changes in the radiographic characteristics of the mandibular alveolar process in dentate women with varying bone mineral density: a 5-year prospective study. *Bone.* mayo de 2006;38(5):714-21.
244. Karayianni K, Horner K, Mitsea A, Berkas L, Mastoris M, Jacobs R, et al. Accuracy in osteoporosis diagnosis of a combination of mandibular cortical width measurement on dental panoramic radiographs and a clinical risk index (OSIRIS): The OSTEODENT project. *Bone.* 1 de enero de 2007;40(1):223-9.
245. Nakamoto T, Taguchi A, Ohtsuka M, Suei Y, Fujita M, Tsuda M, et al. A computer-aided diagnosis system to screen for osteoporosis using dental panoramic radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology.* julio de 2008;37(5):274-81.
246. Kavitha MS, Samopa F, Asano A, Taguchi A, Sanada M. Computer-aided measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs for identifying osteoporosis. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry.* 2012;3(1):36-44.
247. Heuchert J, Koziel S, Spinek AE. Radiomorphometric indices of the mandible as indicators of decreased bone mineral density and osteoporosis – meta-analysis and systematic review. *Osteoporos Int* [Internet]. 23 de octubre de 2023 [citado 23 de enero de 2024]; Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00198-023-06949-7>