

IMPACTO DE LA EXPOSICIÓN SOLAR CONTROLADA Y LA ACTIVIDAD FÍSICA REGULAR SOBRE LA DENSIDAD MINERAL ÓSEA EN ADULTOS MAYORES

IMPACT OF THE CONTROLLED SUN EXPOSURE AND REGULAR PHYSICAL ACTIVITY ON BONE MINERAL DENSITY IN OLDER ADULTS

Erika Ricaurte Zavala¹, Fernando Álvarez Maigualema², Maria Fernanda López Merino³,
Miriam Moreira Andrade⁴

{erika.ricaurte@unach.edu.ec¹, fernando.alvarez@unach.edu.ec², maria.lopezm@unach.edu.ec³, carolina.moreira@unach.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 12/01/2026 / Fecha de aceptación: 09/02/2026 / Fecha de publicación: 10/02/2026

RESUMEN: La reducción de la densidad mineral ósea (DMO) representa un desafío para salud de las personas adultas mayores debido a su asociación con la osteoporosis. Este estudio evaluó el impacto de una intervención controlada y no invasiva de exposición solar y actividad física sobre los niveles séricos de vitamina D y DMO en adultos mayores de una comunidad rural en Riobamba. Bajo un estudio cuasi-experimental de tipo pre-post test sin grupo control, la intervención duró 12 semanas incluyendo una exposición controlada al sol (20, 25 y 30 minutos diarios) con actividad física semanal. Se trabajó con 66 adultos mayores midiendo los niveles de 25(OH)D y DMO en cuatro regiones; columna lumbar, cadera total, cuello femoral y antebrazo distal. Estas áreas se determinaron por técnicas de inmunoensayo y absorción de rayos X. Los resultados evidenciaron un incremento del 22,9% en la vitamina D, y una disminución en la insipiencia vitamínica que pasó del 42,5% al 15,2%. Hubo aumentos constantes y moderados en la DMO particularmente en el cuello femoral y columna lumbar. Aunque la actividad semanal mostró una ligera tendencia negativa con relación a los cambios en la DMO, los mayores avances se registraron en aquellos participantes que realizaron entre 110 a 170 minutos de actividad física por semana. Se concluye que la integración de exposición solar controlada con la actividad física permite mejoras a nivel de salud ósea y vitamínica en el adulto mayor, instando a aplicar estas estrategias en entornos comunitarios y no comunitarios.

Palabras clave: salud ósea, adulto mayor, actividad física, nivel sérico, vitamina D

¹Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-2275-6496>

²Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0002-8430-2657>

³Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0001-2585-8754>

⁴Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0003-7179-7002>

ABSTRACT: The reduction in bone mineral density (BMD) represents a challenge for the health of older adults due to its association with osteoporosis. This study evaluated the impact of a controlled, non-invasive intervention involving sun exposure and physical activity on serum vitamin D levels and BMD in older adults in a rural community in Riobamba. In a quasi-experimental pre-posttest study without a control group, the intervention lasted 12 weeks and included controlled sun exposure (20, 25, and 30 minutes daily) with weekly physical activity. Sixty-six older adults were studied, measuring 25(OH)D and BMD levels in four regions: lumbar spine, total hip, femoral neck, and distal forearm. These areas were determined by immunoassay and X-ray absorption techniques. The results showed a 22.9% increase in vitamin D and a decrease in vitamin deficiency from 42.5% to 15.2%. There were steady and moderate increases in BMD, particularly in the femoral neck and lumbar spine. Although weekly activity showed a slight negative trend in relation to changes in BMD, the greatest advances were recorded in those participants who performed between 110 and 170 minutes of physical activity per week. It is concluded that the integration of controlled sun exposure with physical activity leads to improvements in bone health and vitamin levels in older adults, urging the application of these strategies in community and non-community settings.

Keywords: *bone health, older adults, physical activity, serum level, vitamin D*

INTRODUCCIÓN

La disminución progresiva de la densidad mineral ósea (DMO) en adultos mayores es considerado como uno de los desafíos más determinantes asociados al envejecimiento, debido a que está estrechamente relacionada con la osteoporosis, enfermedad que reporta una afectación del 21,7% a nivel mundial en personas con más de 65 años (1). Este segmento de la población sufre de osteopenia u osteoporosis, condiciones que afectan a la movilidad, autonomía de la persona y bienestar general. La disminución rápida de la DMO obedece a aspectos biológicos, hormonales, nutricionales y de comportamiento; en estos últimos por una exposición solar diaria insuficiente, bajos niveles de vitamina D y escasa o nula actividad física (2,3).

La vitamina D cumple un papel primordial en la regulación del metabolismo óseo que, entre funciones, permite la absorción de calcio en el intestino y aporta a la mineralización del tejido óseo (4). Sin embargo, la falta de esta vitamina es común en el adulto mayor, explicado por una disminución de su producción por medio de la piel, alteraciones fisiológicas relacionadas con el proceso normal de envejecimiento y hábitos no saludables que restringen la exposición al sol (5). Reciente estudios han mostrado que una exposición solar moderada entre 10 a 30 minutos diarios permite una absorción moderada y eficaz al aumentar los niveles séricos de 25-hidroxivitamina D (25(OH)D) en la piel en momentos de baja radiación solar. Además, la

evidencia ha reportado relaciones positivas entre los niveles suficientes de vitamina D y la conservación de la DMO, sobre todo en aquellas regiones del cuerpo donde son metabólicamente más activas, como, por ejemplo, la región lumbar de la espalda (6,7).

Por su parte, la actividad física en el adulto mayor, es considerado como un aspecto clave en la regulación de la salud ósea, ya que prácticas como caminatas al aire libre, ejercicios de movilidad articular de rodillas, antebrazos y cuello, o actividades recreativas como el baile lento, han demostrado ser eficaces en mejorar la fuerza y estructura ósea mediante las cargas mecánicas que incentivan la generación de tejido nuevo disminuyendo la resorción del hueso (8-10). A pesar de ello, la forma en que los huesos responden al ejercicio especialmente en personas de la tercera edad, esta vinculado con la intensidad, tipo de ejercicio o actividad, frecuencia y la capacidad personal de la persona (11). Es por ello, que se hace necesario estudiar como la actividad física impacta en la salud ósea del adulto mayor.

El objetivo del presente estudio es evaluar el impacto de una intervención controlada de exposición solar y actividad física semanal sobre los niveles séricos de vitamina D y DMO en adultos mayores de una comunidad rural del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo en Ecuador. Específicamente, se identificó las modificaciones en los niveles de vitamina D antes (pre) y después (post) de la intervención, se evaluó los cambios en la DMO en la región lumbar, cadera total, cuello femoral y antebrazo distal y finalmente, se analizó la relación entre la actividad física semana con las variaciones en la DMO del grupo evaluado.

Este estudio aporta a develar la relación entre la exposición solar controlada con la práctica de actividad física en un segmento de la población vulnerable y poco atendida sobre todo de comunidades rurales andinas. Por medio de la intervención no invasiva, de bajo costo y que no requiere de medicación, se amplía la evidencia de dicha relación en otros contextos geográficos y se proporciona información útil y relevante para establecer estrategias y prácticas a nivel comunitario que promuevan un envejecimiento saludable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Se realizó un estudio cuasi-experimental de tipo pre-post test sin grupo control orientado en evaluar la influencia de la exposición solar y la actividad física semanal sobre los niveles séricos de vitamina D y la DMO en personas adultas mayores. El periodo de intervención se realizó durante 12 semanas, en las cuales se aplicaron mecanismos de seguimiento para evaluar los cambios en las variables de interés. Durante la intervención, la actividad física evaluada correspondió a ejercicios habituales propios del adulto mayor que incluyeron caminatas al aire libre, ejercicios de movilidad articular (posición estática de rodillas, brazos y cuello), y actividades recreativas de bajo impacto (baile lento y estiramientos).

Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por 253 adultos mayores residentes de la comunidad Licán, perteneciente a la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, en donde se aplicó un tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia, para extraer la muestra acorde a criterios de inclusión definidos por el equipo investigador. Los criterios de selección definidos fueron: (a) tener una edad mayor o igual a 65 años, (b) capacidad para movilizarse por sí solos, (c) disponibilidad de tiempo para participar a diario en el estudio, (d) compromiso para registrar su actividad semanal en la ficha de registro, y (e) estar de acuerdo con el consentimiento informado. Se excluyeron aquellos participantes con alguna enfermedad metabólica grave que pudiera afectar su metabolismo óseo, personas con suplementos farmacológicos de vitamina D o calcio durante los tres meses previos, pacientes con impedimentos farmacológicos, y pacientes recientemente tratados que hayan alterado su DMO. Finalmente, el tamaño muestral fue de 66 adultos mayores, los cuales cumplieron con todos los criterios de elegibilidad.

Procedimiento

Durante las 12 semanas de intervención, los participantes siguieron un protocolo de exposición solar que facilitó ajustar el tiempo de contacto con la radiación acorde a la tolerancia individual. En las dos primeras semanas se realizaron 20 minutos de exposición diaria para favorecer la adaptación inicial de la piel. Posteriormente, entre las siguientes tres a seis semanas, se mantuvo el mismo periodo de exposición de 20 minutos con cinco minutos adicionales, tomando en cuenta de que no existieran molestias cutáneas, en donde se registró el tiempo exacto, y zona corporal expuesta. Desde la semana siete a la doceava, se incrementó el tiempo de exposición de 25 a 30 minutos diarios a fin de optimizar la vitamina D sin exceder los límites seguros. Estos rangos manejados se sustentan en la literatura que indican que exposiciones entre 10 a 30 minutos son suficientes para elevar los niveles de 25(OH)D sin representar un riesgo de daño térmico en la piel (7,12).

Durante el mismo periodo de intervención, los participantes fueron monitoreados a través de registros semanales donde se incluyó el tiempo total dedicado a la actividad física (caminatas, movilidad articular, actividad recreativa). En las primeras cuatro semanas se registró el tiempo real de actividad estableciendo una línea base sin realizar modificaciones en la intensidad habitual del ejercicio. Entre las semanas 5 a 8, se mantuvieron los niveles de actividad en los rangos funcionales seguros (10 a 30 minutos) en donde se distribuyeron las sesiones en tiempos de 15 a 30 minutos. Durante las cuatro últimas semanas (semana 9 a 12) se mantuvo la estabilidad de los registros y no se realizaron modificaciones en el tipo o intensidad de los ejercicios para disminuir los sesgos en las comparaciones del pre y post intervención.

Técnicas e instrumentos

La concentración sérica de vitamina D se evaluó por medio de un análisis bioquímico de sangre venosa realizado en los momentos pre y post intervención. Para ello se hizo uso de un inmunoensayo específico para la cuantificación de 25-hidroxivitamina D [25(OH)D], expresando los resultados obtenidos en nanogramos por mililitro (ng/mL). Esta técnica ha sido aplicada en otros similares contextos clínicos (13, 14).

La DMO se evaluó usando una absorciometría dual de rayos X (DXA) alineado al protocolo de la Sociedad Internacional de Densitometría Clínica. Esta técnica es reconocida e internacionalmente aplicada para el diagnóstico de osteoporosis y seguimiento de masa ósea (15-17). Las mediciones se realizaron en las cuatro regiones anatómicas evaluadas de columna lumbar (L1-L4), cadera total, cuello femoral y antebrazo distal, tanto al inicio como al final de la intervención.

En inicio, el paciente fue acostado sobre la mesa del equipo y para el caso de la columna lumbar, se apoyó las piernas sobre un soporte acolchado para aplanar la pelvis; para la cadera total y cuello femoral se rotó el pie en una abrazadera que rotó la cadera medialmente; y para el antebrazo distal se posicionó el brazo extendido sobre el detector periférico. Durante la intervención el detector descendió lentamente sobre la región estudiada mientras la fuente emisora de rayos X inferior emitía haces duales de baja energía.

La exposición solar diaria fue evaluada a través de un formulario estructurado de autorreporte, elaborado para el presente estudio, pero basado en el instrumento aplicado de Samefors et al. (18). El formulario registró el tiempo de exposición solar en minutos, horario estimado, y presencia de potenciales reacciones cutáneas. La validez del instrumento fue revisada por expertos en el área de geriatría y salud pública. Su consistencia interna se ha reportado en estudios previos registrando una adecuada confiabilidad (Alfa de Cronbach entre 0,75 a 0,85) para su aplicación en estudios de adultos mayores (19,20).

La actividad física se evaluó a través de un cuestionario de autorreporte, donde se registró la duración en minutos de las actividades realizadas durante la semana. La actividad física fue categorizada acorde a su tipo e intensidad, diferenciándose entre actividad física ligera (caminar lento, tareas domésticas), y moderada (caminar rápido, resistencia ligera, ejercicios de movilidad) Estudios avalan el uso de auto reportes semanales como un método adecuado para estimar el volumen de actividad físicas en adultos mayores (21,22).

Consideraciones éticas

El estudio se acogió a los estándares éticos de la Declaración de Helsinki. Cada uno de los participantes estuvo de acuerdo con el consentimiento informado por escrito, y donde todos sus datos personales fueron manejados de manera confidencial y con total privacidad. No se

registraron problemas de salud ya que la exposición al sol fue totalmente controlada y las actividades físicas fueron de baja intensidad.

RESULTADOS

Características de la muestra

Los participantes del estudio registraron una edad promedio de 73,5 años, con una ligera predominancia del género femenino (53,1%). El IMC se situó en un rango que abarcó desde un peso normal hasta un leve sobrepeso, con una media de 23,3 kg/m². Cada participante dedicó en promedio 145 minutos a actividades físicas con frecuencia semanal y tuvo un tiempo de exposición al sol controlado de 20,2 minutos diarios, aproximadamente. Los niveles de vitamina D al inicio del estudio mostraron una media de 31,5 ng/mL. Con relación a la salud ósea inicial, se registró que un 24,2% de los participantes presentó una DMO normal, mientras que el 40,9% padeció osteopenia y el 34,8% osteoporosis, evidenciando una distribución mayoritaria de alteraciones en la DMO desde el inicio del análisis.

Tabla 1. Caracterización general de la muestra (n=66).

Variable	Media ± DE / n (%)
Edad	73,5 ± 6,3
Sexo	
Hombres	31 (46,9%)
Mujeres	35 (53,1%)
Índice de masa corporal (IMC, kg/m ²)	23,3 ± 4,4
Actividad física semanal (min/semana)	145 ± 48
Exposición solar controlada (min/día)	20,2 ± 6,3
Nivel basal de vitamina D (25(OH)D, ng/mL)	31,5 ± 5,7
Condición ósea inicial	
Normal	16 (24,2%)
Osteopenia	27(40,9%)
Osteoporosis	23 (34,8%)

Nota. Formulario inicial aplicado a los participantes.

En el tiempo de observación, se registró un aumento en la cantidad diaria de exposición al sol (Figura 1), ya que, al comienzo, los participantes reportaron un valor promedio de 20 minutos de exposición solar diario y al finalizar la intervención, este valor se incrementó a 28 minutos diarios aproximadamente. Adicionalmente, al término del estudio, los periodos de variabilidad mostraron un rango más amplio, lo que indicó un incremento general en el tiempo de exposición solar regulada entre las dos mediciones.

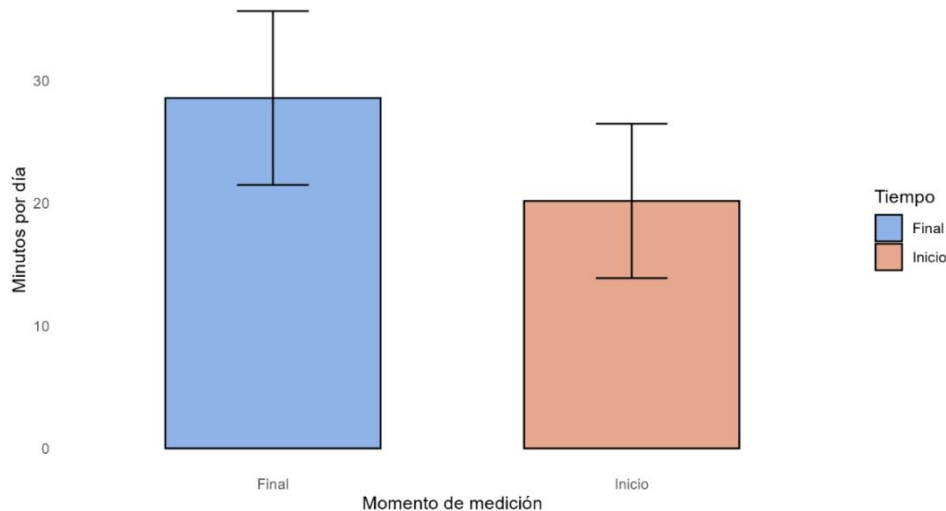


Figura 1. Exposición solar diaria (min/día) antes y después de la intervención.

Nota. Registro diario auto informado mediante instrumento de seguimiento.

El tiempo mínimo de exposición al sol registró un aumento notable entre las dos instancias de evaluación (Figura 2), ya que, al inicio, 34 participantes lograron al menos 20 minutos de exposición diaria, pero al término de la intervención, esa cantidad se incrementó a 52 individuos. Esta variación indica que un número más alto de personas mayores documentó tiempos de exposición que fueron igual o superiores al límite establecido en la última medición.

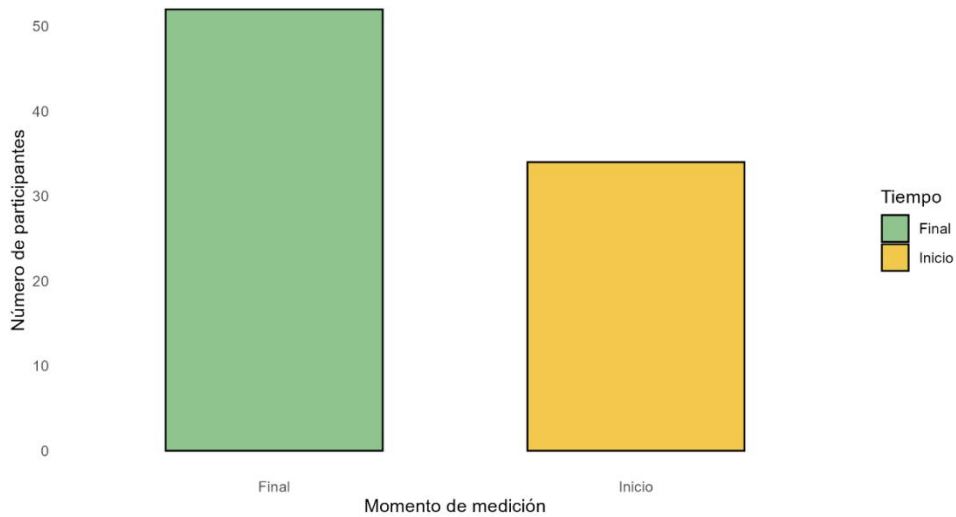


Figura 2. Cumplimiento del tiempo mínimo de exposición solar ≥ 20 min/día.

Nota. Conteo de participantes que alcanzaron o superaron el umbral de exposición solar establecido.

Al término de la intervención, se registró un aumento en los niveles de vitamina D en sangre. La media de concentración se elevó de $32,3 \pm 6,4$ a $39,7 \pm 7,3$ ng/mL, resultando en un incremento del 22,9%, con un diferencial de cambio de 7,4 ng/mL. En lo que respecta a la clasificación por categorías, el número de individuos con deficiencia de vitamina D se redujo de 28 ng/mL (42,4%) a 10 ng/mL (15,2%), reduciendo así 18 casos en los pacientes. Por otra parte, la proporción de personas con niveles adecuados se incrementó del 57,6% (n= 38) al 84,8% (n = 56), es decir, un aumento de 18 casos en los participantes (Tabla 2).

Tabla 2. Cambios en niveles séricos de Vitamina D antes y después de la intervención (n=66).

Aspecto	Pre-intervención (media \pm desviación estándar)	Post-intervención (media \pm desviación estándar)	Δ cambio absoluto	Δ cambio (%)
Vitamina D 25(OH)D	$32,3 \pm 6,4$	$39,7 \pm 7,3$	7,4 ng/mL	22,9
Suficiencia (≥ 30 ng/mL), n (%)	28 (42,4%)	10 (15,2%)	-18 casos	-
Insuficiencia (<30 ng/mL)	38 (57,6%)	56 (84,8%)	+18 casos	-

Nota. Información obtenida mediante análisis bioquímico de 25(OH)D en sangre venosa al inicio y al final del periodo de intervención.

El análisis de la DMO reveló aumentos consistentes en todas las áreas anatómicas examinadas. En la región lumbar (L1–L4), la DMO subió de aproximadamente 0,78 g/cm² al inicio a cerca de 0,81 g/cm² al final del estudio. En la cadera total, los valores se incrementaron de alrededor de 0,65 g/cm² a 0,67 g/cm², mientras que en el cuello femoral se registró un crecimiento de aproximadamente 0,72 g/cm² a 0,75 g/cm². Por último, el antebrazo distal mostró un avance desde cerca de 0,61 g/cm² hasta entre 0,62 y 0,63 g/cm² en la última medición. Los gráficos de error indicaron una variabilidad comparable en ambos momentos, mostrando que en todas las áreas la DMO final fue un poco mayor que la inicial.

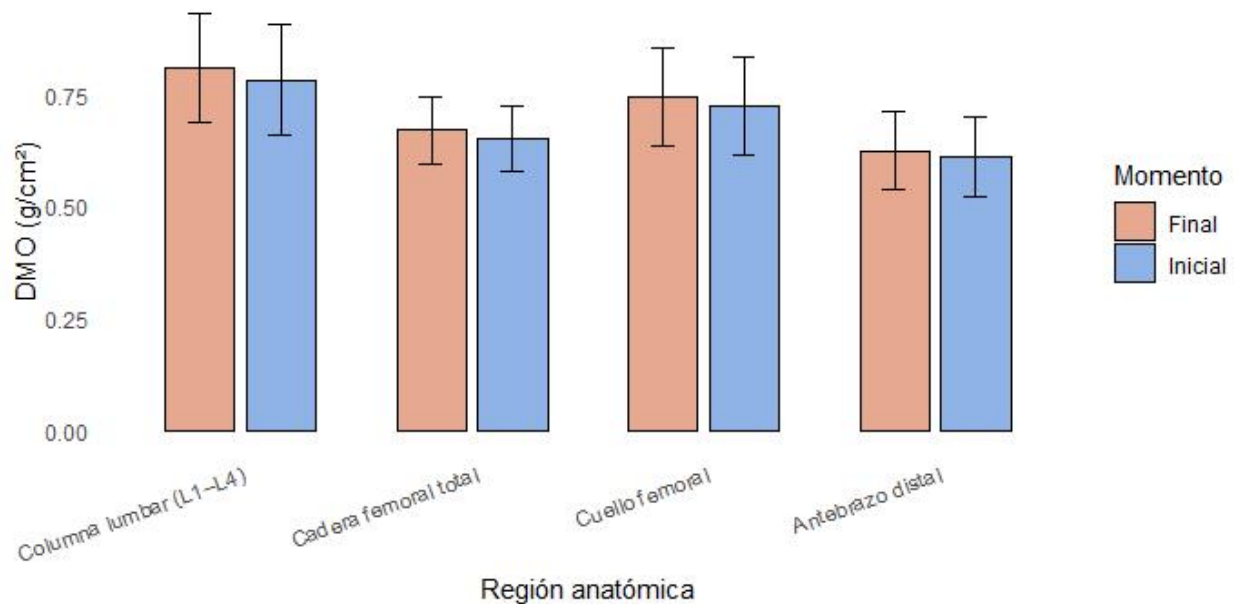


Figura 3. Comparación DMO pre-post por región anatómica.

Nota. Mediciones realizadas a través de DXA en los momentos inicial y final de la investigación.

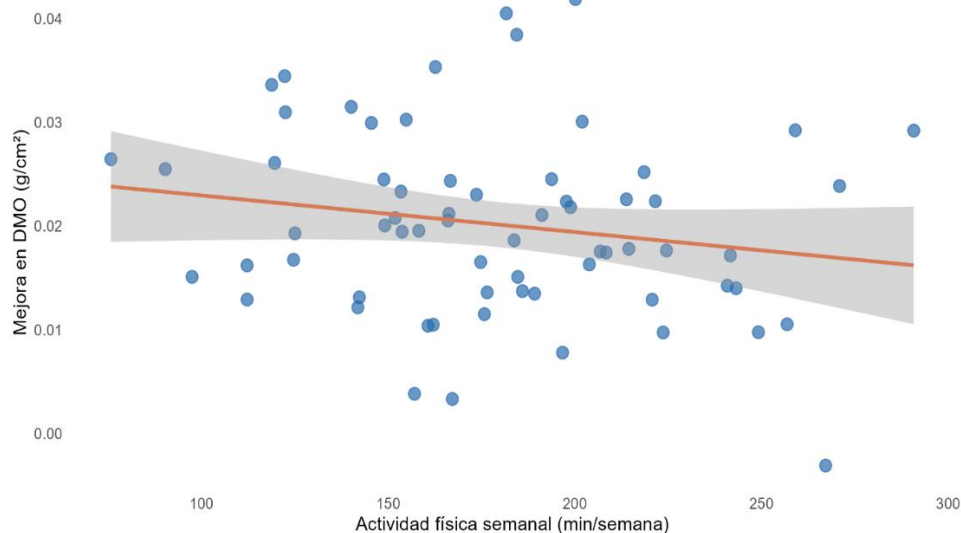
Los niveles finales de vitamina D evidenciaron relaciones positivas y significativas con la DMO mediante todas las regiones anatómicas evaluadas (Tabla 3). La región lumbar registró la asociación más fuerte, con un coeficiente de correlación de $r = 0,55$ ($p = 0,001$), seguida del cuello femoral con $r = 0,45$ ($0,002$). Por otra parte, la cadera femoral total presentó una correlación de $r = 0,41$ ($p = 0,003$), mientras que el antebrazo distal tuvo una correlación más débil, con $r = 0,35$ ($p = 0,015$).

Tabla 3. Correlación entre vitamina D final y DMO.

Región anatómica	r (coeficiente de correlación)	valor de p
Columna lumbar (L1-L4)	0,55	0,001
Cadera femoral total	0,41	0,003
Cuello femoral	0,45	0,002
Antebrazo distal	0,35	0,015

Nota. Resultados obtenidos de los valores finales de vitamina D y las mediciones de DMO a través de densitometría ósea en cada región anatómica.

La relación entre la actividad física aplicada semanalmente y la mejora en la DMO registró una ligera tendencia negativa a lo largo del periodo evaluado. Los individuos monitoreados evidenciaron que su actividad física variaba entre aproximadamente 90 y 290 minutos a la semana, mientras que el avance en la DMO estuvo en un rango entre 0 a 0,04 g/cm². La línea de regresión mostró una pendiente levemente descendente, registrando niveles más altos de actividad física no están asociados a incrementos en la DMO, en contraste, las mejoras, más relevantes, que alcanzaron cifras de 0,03 a 0,04 g/cm², se encontraron en aquellos participantes que realizaban entre 110 a 170 minutos de actividad cada semana.


Figura 4. Relación entre actividad física semanal y mejora en DMO.

Nota. Información obtenida a través del cuestionario semanal de registro de actividad moderada, mientras que la mejora en la DMO se obtuvo restando el valor inicial del final de la densitometría.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demostraron que una exposición solar regulada acompañado de niveles adecuados de vitamina D, aportan a la demora de la DMO en personas de la tercera edad, lo que se alinea con investigaciones previas (23,24). El aumento gradual de exposición al sol a diario sumado al incremento del número de personas que cumplieron con el tiempo mínimo recomendado de 20 minutos de sol, indicó una adecuada acogida al programa de intervención reflejándose en una mejora notable en los niveles de vitamina D en la sangre, lo que es consistente con resultados de otros estudios en los que recomiendan entre 15 a 30 minutos de sol, suficientes para provocar elevaciones clínicas relevantes en 25(OH)D en el adulto mayor (6,8, 18).

El aumento que se evidenció de 22,9% en los niveles de vitamina D resulta clave al reportarse que este micronutriente suele presentarse en bajo niveles en edades adultas mayor a nivel global (5). Este resultado es relevante tomando en cuenta los factores fisiológicos asociados al envejecimiento, menor capacidad de producción cutánea de la vitamina y a un estilo de vida que limita la exposición al sol. La disminución de 18 casos de deficiencia vitamínica con el incremento del número de participantes con niveles suficientes da cuenta de que las intervenciones no farmacológicas y de bajo costo desempeñan un papel fundamental en la mejora del estado vitamínico del grupo evaluado. Estudios previos apoyan estos hallazgos al evidenciar una relación entre los niveles de vitamina D y las mejoras en la DMO, especialmente en áreas con mayor proporción de tejido trabecular como en la región lumbar (25,26).

Con relación a las mediciones de densidad ósea, los resultados evidenciaron incrementos moderados en todas las áreas anatómicas evaluadas. Las regiones que mostraron mayor incremento fueron la columna lumbar y el cuello femoral, áreas que son metabólicamente más activas y que responden a los cambios en el metabolismo mineral y hormonal, y están en concordancia con investigaciones que reportan que la integración entre la exposición al sol junto con ejercicios suaves (caminatas al aire libre), promueven adaptaciones que son de beneficio para la microestructura del hueso, incluso por periodos relativamente breves (entre 8 y 12 semanas) (27,28).

La relación negativa encontrada entre el ejercicio físico semanal y la DMO fue un resultado que se contrapone a lo que se esperaría encontrar teóricamente, y que se ha reportado en otras investigaciones (11, 29, 30), sin embargo, en el presente estudio el aumento en la cantidad de actividad física no presentó mejoras en su DMO y esto se explica porque los participantes que realizaron mayor cantidad de ejercicio no necesariamente realizaron actividades con un estímulo osteogénico suficiente, ya que un alto volumen de actividad física no implica mayor impacto mecánico sobre el hueso. De hecho, los mayores incrementos (de 0,03 a 0,04 g/cm²) se reflejaron en aquellos participantes que realizaron entre 110 a 170 minutos de actividad física

semanal, rangos que coinciden con intensidades moderadas para favorecer la salud ósea (29,30,31).

Bajo un enfoque práctico, los hallazgos obtenidos presentan implicaciones notables para la salud pública y atención a la comunidad en personas mayores, particularmente en áreas donde las intervenciones farmacológicas y suplementación continua son limitadas. La evidencia sugiere que medidas económicas y sencillas, como promover una exposición solar controlada, es vital para elevar los niveles de vitamina D en sangre, y, por ende, contribuye a preservar la DMO (32,33,34). Otros estudios han reportado que programas comunitarios que dan importancia a la exposición solar controladamente puede ser una medida efectiva en reducir la prevalencia de deficiencia de vitamina D en adultos mayores (18, 35).

Desde el aspecto clínico preventivo, se resalta que el control regular de los niveles de vitamina D, acompañado con directrices para la exposición al sol y realización de actividades físicas moderadas, pueden vincularse a las estrategias globales para reducir la osteopenia y osteoporosis en adultos mayores. Es así, que autores han reportado que mantener niveles séricos de 25(OH)D de alrededor de 30 ng/mL o más, se asocia a una disminución en la pérdida ósea y un menor riesgo de fracturas, particularmente en el fémur, zona lumbar (36,37). Por otra parte, el presente estudio resalta la importancia del tipo y frecuencia de la actividad física, y no solamente a su cantidad. La falta de una correlación positiva entre el volumen de ejercicio y mejora en la DMO fortalece lo que se ha documentado en otros estudios, donde enfatizan que solamente las actividades que producen cargas mecánicas adecuadas (ejercicios de resistencia moderada y caminatas), son idóneas para adaptaciones osteogénicas relevantes (38,39,40).

Es importante mencionar ciertas limitaciones del estudio, como, por ejemplo, que no se incluyeron aspectos dietéticos, como la cantidad de calcio y proteínas consumidas por los participantes, que pudieron haber incidido en la DMO. La actividad física se midió exclusivamente en función del tiempo empleado, sin diferenciación del tipo de ejercicio, lo que restringió el estudio de su efecto específico sobre la formación ósea. A pesar de estas limitaciones, los resultados del estudio apoyan el establecimiento de iniciativas a nivel comunitario dirigidas a potenciar la exposición al sol de una manera regulada y a promover el ejercicio físico en el adulto mayor. Estas medidas fáciles de aplicar pueden integrarse a intervenciones más amplias e integrales para un envejecimiento más saludable de las personas de la tercera edad. Se sugiere seguir investigando en este campo, especialmente en realizar estudios experimentales con grupos control, poniendo en marcha mediciones continuas de exposición al sol y realizando análisis diferenciados por tipo de actividad física, y examinado la relación múltiple con la dieta alimenticia, niveles hormonales y densidad ósea.

CONCLUSIONES

La exposición solar regulada demostró una relación consistente con mejoras en la DMO de los adultos mayores, lo que resalta el impacto positivo de medidas no farmacológicas en la preservación de la salud ósea durante el envejecimiento. Además, el incremento de los niveles de vitamina D, demostró mejoras notables, aunque moderadas en la DMO de la región lumbar, cadera total, cuello femoral y antebrazo distal, confirmando en efecto beneficioso sobre la salud ósea de los adultos mayores. Finalmente, se concluye que el ejercicio semanal sumado al patrón observado de respuesta ósea, estuvo asociado con una falta de incrementos proporcionales en la DMO de aquellos participantes que tuvieron mayor volumen de actividad, lo que da cuenta que los efectos positivos fueron más notables en los niveles de ejercicio moderado.

DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflicto de interés de ningún tipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Salari N, Darvishi N, Bartina Y, Larti M, Kiaei A, Hemmati M, et al. Global prevalence of osteoporosis among the world older adults: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1).
2. Wang Q, Yu D, Wang J, Lin S. Association between vitamin D deficiency and fragility fractures in Chinese elderly patients: a cross-sectional study. *Ann Palliat Med.* 2020; 9(4):1660665–1665.
3. Voulgaridou G, Papadopoulou SK, Detopoulou P, Tsoumana D, Giaginis C, Kondyli FS, et al. Vitamin D and Calcium in Osteoporosis, and the Role of Bone Turnover Markers: A Narrative Review of Recent Data from RCTs. *Diseases.* 2023;11(1):29.
4. Bouillon R, Carmeliet G, Verlinden L, Van Etten E, Verstuyf A, Luderer HF, et al. Vitamin D and human health: lessons from vitamin D receptor null mice. *Endocr Rev.* 2008;29(6):726–76.
5. Meshkin A, Badiie F, Salari N, Hassanabadi M, Khaleghi AA, Mohammadi M. The Global Prevalence of Vitamin D Deficiency in the Elderly: A Meta-analysis. *Indian J Orthop.* 2024 ;58(3):223.

6. Chalcraft JR, Cardinal LM, Wechsler PJ, Hollis BW, Gerow KG, Alexander BM, et al. Vitamin D Synthesis Following a Single Bout of Sun Exposure in Older and Younger Men and Women. *Nutrients*. 2020; 12(8):2237.
7. Raymond-Lezman JR, Riskin SI. Benefits and Risks of Sun Exposure to Maintain Adequate Vitamin D Levels. *Cureus*. 2023; 15(5).
8. Benedetti MG, Furlini G, Zati A, Mauro GL. The Effectiveness of Physical Exercise on Bone Density in Osteoporotic Patients. *Biomed Res Int*. 2018; 2018:4840531.
9. Nazari-Makiabadi M, Azarbayjani MA, Rahmati-Ahmadabad S, Guerra-Balic M, Bellovary BN, Nazari-Makiabadi M, et al. A Review of the Effects of Physical Activity (PA) on Bone Density: Relying on Iranian Studies. *Thrita* 2022; 11(1):e128483.
10. Xiaoya L, Junpeng Z, Li X, Haoyang Z, Xueying F, Yu W. Effect of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and network meta-analysis. *Scientific Reports* 2025 15:1. 2025;15(1):11740-.
11. Gama D, Pereira Mallen da Silva GC, Gama B, Moreira de Carvalho Monteiro AB, Borba Pinheiro CJ, Bezerra da Silva E, et al. Effects of Physical Exercise on Bone Mineral Density in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Muscle Ligaments and Tendons Journal*. 2025;15(03):306.
12. Giustina A, Bouillon R, Dawson-Hughes B, Ebeling PR, Lazaretti-Castro M, Lips P, et al. Vitamin D in the older population: a consensus statement. *Endocrine*. 2022;79(1):31.
13. Le Goff C, Cavalier E, Souberbielle JC, González-Antuña A, Delvin E. Measurement of circulating 25-hydroxyvitamin D: A historical review. *Pract Lab Med*. 2015; 2:1.
14. Trimboli F, Rotundo S, Armili S, Mimmi S, Lucia F, Montenegro N, et al. Serum 25-hydroxyvitamin D measurement: Comparative evaluation of three automated immunoassays. *Pract Lab Med*. 2021; 26:e00251.
15. Bobo S, Moore CF. A review of the use of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in rheumatology. *Open Access Rheumatol*. 2012; 4:99.
16. Barberán M. M, Campusano M. C, Trincado M. P, Oviedo G. S, Brantes G. S, Sapunar Z. J, et al. Recomendaciones para el uso correcto de densitometría ósea en la práctica clínica. Consenso de la Sociedad Chilena de Endocrinología y Diabetes. *Rev Med Chil*. 2018;146(12):1471–80.

17. Slart RHJA, Punda M, Ali DS, Bazzocchi A, Bock O, Camacho P, et al. Updated practice guideline for dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2024;52(2):539.
18. Samefors M, Tengblad A, Östgren CJ. Sunlight Exposure and Vitamin D Levels in Older People-An Intervention Study in Swedish Nursing Homes. *Journal of Nutrition, Health and Aging* 2020 ;24(10):1047–52.
19. Keith N, Clark D, Stump T, Miller D, Callahan C. Validity and reliability of the Self-Reported Physical Fitness (SRFit) survey. *Journal of Physical Activity & Health* 2014; 11(4): 853–859.
20. Smith R, McHugh G, Quicke J, Dziedzic K, Healey E. Comparison of reliability, construct validity and responsiveness of the IPAQ-SF and PASE in adults with osteoarthritis. *Musculoskeletal Care* 2021; 19(4): 473–483.
21. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*. 2003; 35(8):1381–95.
22. Sember V, Meh K, Sorić M, Jurak G, Starc G, Rocha P. Validity and Reliability of International Physical Activity Questionnaires for Adults across EU Countries: Systematic Review and Meta Analysis. *Int J Environ Res Public Health*.
23. Hill TR, Aspray TJ, Francis RM. Vitamin D and bone health outcomes in older age. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2013;72(4):372–80.
24. Laird E, Ward M, McSorley E, Strain JJ, Wallace J. Vitamin D and Bone Health; Potential Mechanisms. *Nutrients* 2010; 2(7):693–724.
25. Yu S jun, Yang Y, Zang J cheng, Li C, Wang Y min, Wang J bo. Evaluation of Serum 25-Hydroxyvitamin D3 and Bone Mineral Density in 268 Patients with Hip Fractures. *Orthop Surg*. 2021;13(3):892–9.
26. Sadat-Ali M, Al Elq A, Al-Turki H, Al-Mulhim F, Al-Ali A. Influence of vitamin D levels on bone mineral density and osteoporosis. *Ann Saudi Med*. 2011;31(6):602.
27. Kopiczko A. Determinants of bone health in adults' Polish women: The influence of physical activity, nutrition, sun exposure and biological factors. *PLoS One*. 2020; 1;15(9): e0238127.
28. Cheng J, Meng S, Lee J, Kwak HB, Liu Y. Effects of walking and sun exposure on bone density and balance in elderly with osteopenia. *J Bone Miner Metab*. 2022;40(3):528–34.

29. Haque I, Schlacht TZ, Skelton DA. The effects of high velocity resistance training on bone mineral density in older adults: A systematic review. *Bone*. 2024; 179:116986.
30. Massini DA, Nedog FH, de Oliveira TP, Almeida TAF, Santana CAA, Neiva CM, et al. The Effect of Resistance Training on Bone Mineral Density in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Basel)*. 2022; 10(6).
31. Ng CA, Gandham A, Mesinovic J, Owen PJ, Ebeling PR, Scott D. Effects of Moderate- to High-Impact Exercise Training on Bone Structure Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2023; 38(11):1612–34.
32. Giustina A, Bouillon R, Dawson-Hughes B, Ebeling P, Lazaretti-Castro M, Lips P, Marcocci C, Bilezikian J. Vitamin D in the older population: a consensus statement. *Endocrine*. 2022; 79(1): 31.
33. Husna K, Widajanti N, Sumarmi S, Firdausi H. Correlation of Sun Exposure Score and Vitamin D Intake with Serum 25(OH)D Levels in Older Women. *Jurnal Penyakit Dalam Indonesia*. 2021; 8(2): 2.
34. Mo C, Bajgai J, Rahman M, Choe S, Abdul-Nasir S, Ma H, He W, Pham T, Zhang H, Hoon S, Bomi K, Kim C, Lee K, Shin I. A pilot clinical trial to explore the effects of UV exposure on vitamin D synthesis and inflammatory responses in vitamin D-Deficient adults. *Scientific Reports*. 2025; 15(1): 22557.
35. Okan F, Zincir H, Devenci K. The Effect of Sun Light Exposure to the Level of Vitamin D in Elderly People Living in Nursing Home. *Journal of Clinical Densitometry*. 2022; 25(2): 261–271.
36. Chen F, Lin Y, Lin Y, Huang M, Chen J, Lai P, Chang C, Yin T. Relationship Between Serum 25-Hydroxyvitamin D and Bone Mineral Density, Fracture Risk, and Bone Metabolism in Adults With Osteoporosis/Fractures. *Endocrine Practice*. 2024; 30(7): 616–623.
37. El Miedany Y, Toth M, Mohamed El Gaafary M, Mahran S, Hassan W, Hassan Abu-Zaid M, Elwakil W, Basyoni W, Ahmed E, Saber G, Galal S. Vitamin D management update: evidence-based guidelines for vitamin D optimization by the Egyptian Academy for bone and muscle health. *Egyptian Rheumatology and Rehabilitation*. 2025; 52(1): 34.
38. Ma M, Su W, Liu D. Effects of different exercise interventions on bone mineral density in elderly postmenopausal women: a network meta-analysis. *Frontiers in Physiology*. 2025; 16: 1633913.

39. Sañudo B, Reverte-Pagola G, Maher C, Godino J, Carrasco L, Oviedo M, Feria A, Sánchez-Trigo H, Gamboa H, Domingo-Molina R, Sánchez-Arteaga A, Giráldez, Martínez-Maestre M, Cepeda E, Ladrón-de-Guevara C, Rangel C, Pecci J, Farrahi V, Tejero S. Effectiveness of an mHealth-based impact exercise program for bone health in postmenopausal women: a randomised controlled trial protocol. *BMC Public Health*. 2025; 25(1): 2426
40. Xiaoya L, Junpeng Z, Li X, Haoyang Z, Xueying F, Yu W. Effect of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and network meta-analysis. *Scientific Reports*. 2025; 15(1): 11740.