



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

*Influencia de la superficie de juego en la
masa ósea de jóvenes futbolistas*

Juan Rabal Pelay

Tutor Académico: José Antonio Casajús Mallén

Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

RESUMEN

Introducción: En la actualidad todavía no se han estudiado con profundidad los efectos que pueden tener las distintas superficies de juego sobre la composición corporal, especialmente, en el desarrollo óseo de jóvenes futbolistas. Por ello, los objetivos de este estudio fueron: (1) observar si existen diferencias entre las propiedades biomecánicas de los campos analizados y (2) analizar si existen diferencias en la densidad mineral ósea (DMO) y en el contenido mineral óseo (CMO) de jóvenes futbolistas.

Material y método: 119 jugadores (81 chicos y 38 chicas) de entre 11 y 14 años participaron en este estudio. La muestra estaba formada por 6 equipos de la comunidad autónoma de Aragón. Cada uno de los equipos entrenó y compitió en un tipo de superficie. Para la realización de este estudio se analizaron cinco tipos de superficie de juego: Hierba natural, tierra y tres tipos de césped artificial (según generación de desarrollo). Se evaluó la masa ósea mediante absorciometría dual de rayos x, antropometría siguiendo las recomendaciones del ISAK y los estadios de maduración sexual de los participantes de acuerdo con la clasificación propuesta por Tanner y Whitehouse, y las características biomecánicas de las superficies de juego según normativa FIFA. Se aplicó la prueba *t* de Student para muestras independientes para establecer diferencias en las características físicas entre los grupos por sexo. Análisis de la varianza (ANOVA) y el análisis de la covarianza (ANCOVA) ajustando por edad, altura, peso, estadio de Tanner y la masa magra se utilizaron para comparar las variables de hueso entre las diferentes superficies de juego.

Resultados: Se observaron diferencias significativas entre todas las superficies de juego ($p < 0,05$). No se observaron diferencias en las características físicas (talla, peso, edad) por género. En las variables óseas se encontraron diferencias significativas en CMO y DMO del subtotal del cuerpo, entre grupo de césped artificial sin sub-base (SS) y grupo de césped artificial con sub-base tipo2 (S2) ($p < 0,05$). Se observaron diferencias significativas en la DMO cuello del fémur entre grupo SS y S2 ($p < 0,05$).

Conclusiones: Las propiedades biomecánicas de los cinco tipos de campo estudiados son significativamente diferentes entre sí. Además los equipos que juegan y entrenan en campos con valores mayores de restitución energética tienen mayores valores de DMO en el cuello del fémur. El conocimiento de la influencia que puede tener la superficie de juego en la composición corporal de los practicantes es especialmente relevante en las superficies de césped de tercera generación.

Palabras clave: Masa ósea, Desarrollo, Actividad Física, Fútbol, Terrenos de juego.

ABSTRACT

Introduction: Nowadays, it has not been studied in depth the effects that playing surfaces may have on body composition in football players, especially in bonehealth. Therefore, the aims of this study were (1) to observe if there were differences between

fields in the biomechanical properties, and (2) to determine if bone mineral density (BMD) and bone mineral content (BMC) are different between groups by playing surfaces.t.

Methods: 119 players (81 boys and 38 girls) aged between 11 and 14 years old participated in this study. The sample consisted of six teams in the region of Aragon. Each team trains and competes in a single pitch. Five types of playing surface were analyzed: natural grass, ground and 3 types of artificial turf (generation development according). Bone mass was assessed by dual energy x-ray, anthropometric measurements were registered following the recommendations of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) and the stages of sexual maturation of the participants according to the classification proposed by Tanner and Whitehouse. Biomechanical characteristics of the playing surfaces were studied according to FIFA rules. Student's unpaired *t*-test were applied to establish differences in physical characteristics between groups by sex. Analysis of variance (ANOVA) and analysis of covariance (ANCOVA) adjusting by age, height, weight, Tanner stage and lean mass were used to compare bone variables between different playing surfaces.

Results: All playing surfaces showed significant differences in all tests between them ($p < 0,05$). No differences were observed in physical characteristics (height, weight, age) by gender. In bone variables, significant differences were found in subtotal_body BMC and BMD between artificial turf group without sub-base (SS) group and artificial turf subgrade type 2 (S2) ($p < 0,05$). Moreover, S2 showed higher femoral neck BMD than SS group ($p < 0,05$).

Conclusions: Biomechanical properties are significantly different among kinds of pitch studied. Also, S2 teams (with higher values of energy restitution) have higher BMD values at the femoral neck. Further studies are needed focusing on the influences of playing surfaces on body composition. .

Keywords: Bone mass, Development, Physical activity, Football, Pitch.

1.INTRODUCCIÓN

Cada día son más conocidos los beneficios que aporta la actividad física (AF) a la salud de las personas. Actualmente, está demostrado que la AF reduce el riesgo de fractura ósea tanto en hombres, como en mujeres(1), y es un factor protector contra la aparición de osteoporosis(2). La adquisición de una adecuada masa ósea durante la infancia y la adolescencia es un determinante clave para la salud del esqueleto en la etapa adulta(3). La infancia y la adolescencia son etapas cruciales para un adecuado desarrollo siendo fundamental la contribución de la AF y del ejercicio en la ganancia de masa ósea(4). Especialmente la práctica de deportes de alto impacto como el fútbol, el baloncesto y el voleibol, caracterizados por acciones motrices de gran intensidad como

saltos y cambios de direcciones, y que generan el estímulo osteogénico adecuado para el correcto desarrollo del hueso(5-10).

Actualmente, en nuestro país hay 702.480 licencias de jugadores de fútbol según datos de la Real Federación Española de Fútbol(11). A pesar del gran número de practicantes, todavía hoy no se conocen todos los posibles beneficios que el futbol, y especialmente la superficie de juego, pueden aportar a la composición corporal de sus practicantes. En los últimos años se ha incrementado el número de niños y niñas que escogen fútbol, como primera opción deportiva. El fútbol es un deporte de un alto estímulo osteogénico, por sus acciones a alta intensidad (saltos, cambios de dirección, choques, carrera de alta intensidad)(8, 12, 13). En la literatura científica se han descrito mejoras de masa ósea en la zona de la cadera y de la columna lumbar debido a la práctica deportiva del fútbol tanto en chicos y chicas futbolistas(9, 14-16). Además las mejoras descritas, tanto en hombres como en mujeres que han practicado este deporte durante años, han permanecido en el tiempo incluso una vez abandonado el deporte(14, 15, 17-19). La fractura de cadera se ha descrito como el tipo de fractura más frecuente en personas mayores(1). La práctica deportiva del fútbol puede actuar como factor protector debido a sus beneficios demostrados en el aumento de la densidad mineral ósea (DMO). Por todo ello, estudiar y conocer la incidencia que el futbol puede tener en la composición corporal durante la infancia y la adolescencia parece un tema de especial importancia para mejorar la salud futura de sus practicantes.

A partir de los años setenta se han ido desarrollando nuevas instalaciones deportivas produciéndose cambios en las superficies de juego de deportes como el fútbol, el hockey hierba, etc. Los campos tradicionales de tierra y césped natural han sido cambiados por un nuevo tipo de superficie: el césped artificial(20). Actualmente cada vez es más empleado este tipo de superficie para la construcción de los nuevos campos de fútbol(21). Dentro de los campos de césped artificial existen diferentes modelos que año tras año, y gracias a la tecnología, van avanzando en su desarrollo. La construcción de los campos de tercera generación (el último modelo de superficie desarrollado por los fabricantes), acercándose cada vez más a simular la hierba natural y mejorando los tradicionales campos de tierra, deben de ser estudiados para conocer qué características pueden ser más favorables para la salud y la composición corporal de sus practicantes. El empleo de una sub-base elástica con diferentes grosores de caucho provoca que la amortiguación se vea aumentada y la restitución de energía se vea disminuida. Este hecho puede provocar la disminución del estímulo osteogénico que provoca la práctica deportiva del futbol debido al campo en la superficie de juego tradicional. Las propiedades biomecánicas de las superficies varían dependiendo de los materiales empleados y la tipología empleada para su construcción(22).

Por lo tanto, los objetivos del estudio fueron: (1) conocer las características biomecánicas de las distintas superficies dónde se practica el deporte del fútbol prestando atención a la interacción sujeto-pavimento y (2) estudiar si existen diferencias en el contenido mineral óseo (CMO), la DMO y el área del cuello del fémur, de la

cadera y el cuerpo completo en adolescentes futbolistas en función de la superficie de juego.

2. MATERIAL Y MÉTODO

El presente estudio forma parte del proyecto: “*Efecto de la interacción entre el césped artificial y modelo de botas en la salud ósea de los niños y niñas futbolistas*” (FUTBOMAS) (DEP2012-32724) que se está realizando en el grupo GENUD (Growth, Exercise, Nutrition and Development) de la Universidad de Zaragoza.

Participantes

La muestra con la que se contó para realizar el estudio fue de 119 jugadores de fútbol (81 chicos y 38 chicas) de 6 equipos diferentes de la provincia de Zaragoza. Los participantes tenían una edad comprendida entre los 11 y los 14 años ($12,71 \pm 0,61$). Para la realización del estudio se analizaron un total de 5 superficies de juego: hierba natural, tierra y tres de césped artificial de tercera generación (2 construidas con sub-base y una sin sub-base elástica).

Ambos, padres y niños fueron informados sobre el objetivo y los procedimientos del estudio, así como de los posibles riesgos y beneficios del mismo. Se obtuvo un consentimiento informado de todos los participantes y también sus padres, madres o tutores legales. El estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki de 1961 (revisión de Edimburgo en 2000) y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Gobierno de Aragón. Las evaluaciones a los participantes se realizaron entre los meses de Septiembre y Diciembre de 2013.

Todos los participantes contaban con al menos un año de práctica deportiva de fútbol sobre la superficie estudiada antes de la realización del estudio.

Mediciones de la composición corporal

El CMO, la DMO y el área del cuerpo completo, de la cadera y del cuello del fémur se midió mediante absorciometría dual de rayos-x (DXA) (QDR-Explorer, Hologic Corp., Software versión 12.4, Waltham, MA, USA) realizando una exploración de cuerpo completo, y posteriormente de la cadera y su subregión (cuello femoral) y de la zona lumbar (L₁-L₄). Todas las exploraciones del DXA fueron realizadas por el mismo personal investigador, dispositivo y software, siguiendo las instrucciones del fabricante para el posterior análisis de los resultados.

Mediciones antropométricas

Peso corporal y talla

La altura se midió con un estadiómetro SECA (SECA 225, SECA, Hamburgo, Alemania). Se midió a los participantes, descalzos, con los pies juntos, la espalda en contacto con la escala y mirando al frente en la posición de Frankfort.

Para la medición del peso, se utilizó un analizador de composición corporal TANITA BC 418-MA (Tanita Corp., Tokyo, Japan). Los participantes se pesaron sin zapatos y con la mínima ropa posible.

Índice de maduración sexual

El estado de maduración de los participantes se determinó por autoevaluación, según los estadios de Tanner y Whitehouse(23,24), la cual tiene validez(26), y ha sido utilizada en otros estudios con adolescentes(4, 12).

Valoración de las superficies de juego

La valoración de las superficies de los 5 campos (1 de césped artificial sin sub-base, 2 de césped artificial con sub-base elástica, 1 tierra y otro hierba natural), se llevó a cabo según los criterios FIFA para la valoración de superficies de hierba artificial en fútbol(24).

En España existen tres normativas para clasificar y homologar los campos de césped artificial de tercera generación(31, 35, 36). Por un lado, las que regulan superficies de uso comunitario, educativo o de ocio, como es la UNE-EN 15330-1:2007, para pavimentos deportivos de uso exterior y por otro, las que se centran en el rendimiento deportivo, como las certificaciones FIFA 1 y 2 estrellas (3 y 1 año) y la marca de calidad de la RFEF (Nivel 1 y 2, certificaciones para 2-3 años dependiendo la categoría). A continuación se presentan los rangos de valor de las pruebas biomecánicas, que son necesario obtener para conseguir la certificación de la instalación.

Tabla 1. Valores para acreditación de un campo según normativa.

| | UNE-EN 15330 | RFEF Nivel 1 | RFEF Nivel 2 | FIFA 1 star | FIFA 2 stars |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Rebote vertical | 0.6-1.01 m | 0.608-1.212 m | 0.608-1.012 m | 0.6-1.0 m | 0.6-0.85 m |
| Rodadura horizontal | 4-10 m | 4-13 m | 4-10 m | 4-10 m | 4-8 m |
| Absorción impactos | 55-70 % | 55-70 % | 45-70 % | 60-70 % | 55-70 % |
| Deformación vertical | 4-10 mm | 3-10 mm | 4-10 mm | 4-10 mm | 4-11 mm |
| Resistencia Rotacional | 25-50 Nm | 25-55 Nm | 25-50 Nm | 25-50 Nm | 30-45 Nm |

Se realizaron 5 pruebas para valoración de la función deportiva de la superficie, en 5 puntos del campo (Figura.1). Cada una de las pruebas fue realizada en todos los puntos del campo ejecutándose un total 3-5 ensayos dependiendo del test, obteniéndose el promedio de los mismos para la obtención de datos. Para la realización de este estudio se ensayaron las siguientes pruebas: absorción de impacto, restitución energética (Figura 2) y resistencia al giro rotacional, ya que son las relacionadas con la interacción entre el sujeto y la superficie del campo(27, 28).

Figura 1. Puntos del campo dónde se realizaron las pruebas de función deportiva.

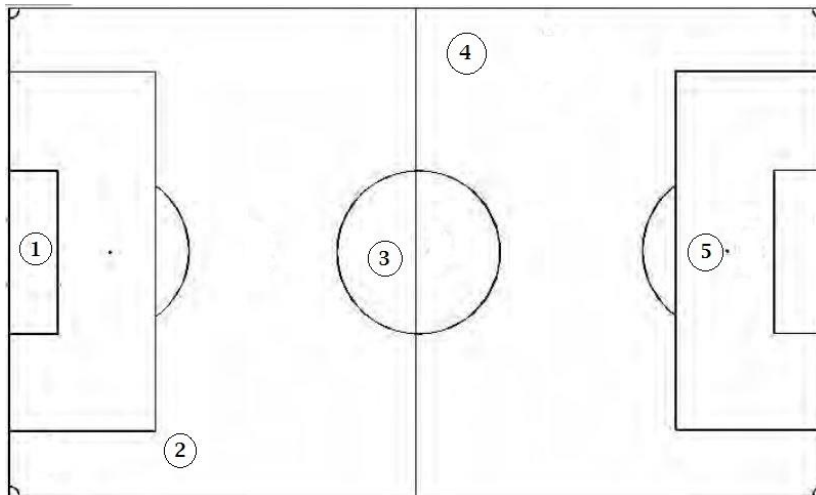
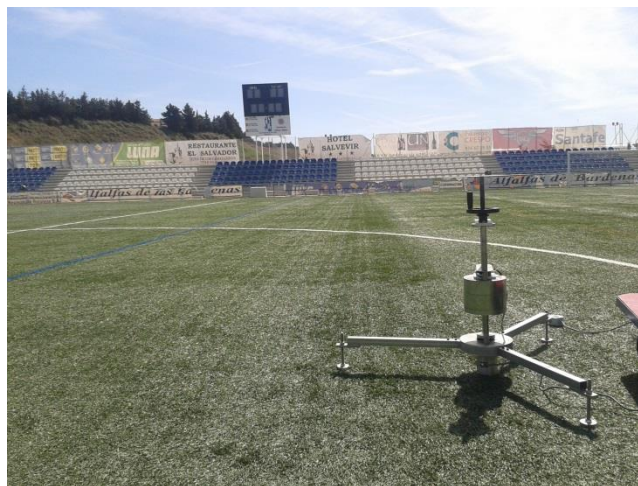


Figura 2. Atleta mecánico para la valoración de absorción de impacto y restitución energética.



Todas las pruebas fueron realizadas a la misma hora del día y por los mismos investigadores bajo condiciones meteorológicas estables, con T^a entre 10 y 22°C, velocidad del viento 0 -1,2 m/s y humedad entre 45-60%. Se utilizó un Pocket Weather Tracker 4000 (Kestrel) para la medición de las condiciones meteorológicas.

Análisis estadístico

Los datos se presentan como la media y la desviación estándar. El test de Kolmogorov-Smirnov se aplicó para comprobar la distribución normal de las variables. El análisis de varianza (ANOVA) de un factor fue utilizado para estudiar las diferencias entre las características biomecánicas de las distintas superficies de juego. Se realizó una prueba *t* de Student para muestras independientes para estudiar las diferencias en peso, talla, índice de masa corporal y masa magra entre los grupos por género. Además, se realizó la prueba de Chi cuadrado para observar si existían diferencias en los estadios de maduración por sexo y equipo. Para estudiar las diferencias en las variables de masa ósea entre los grupos se efectuó un análisis de covarianza (ANCOVA), usando como covariables la edad, peso corporal, talla, estado de maduración sexual y la masa magra de los participantes. El nivel de significación se fijó para un $p < 0,05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS) versión 19.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. RESULTADOS

Las características físicas de los participantes se muestran en la tabla 2. No se encontraron diferencias entre chicos y chicas, para las variables edad, talla, índice de masa corporal, peso corporal, Tanner pubis y masa magra ($p > 0,05$; Tabla 1).

Tabla 2. Características físicas de los participantes por sexo.

| Variables | Chicos (n=81) | | | Chicas (n=38) | | | P |
|-----------------------------|----------------|----|-------|---------------|----|------|-------|
| | Media | DE | | Media | DE | | |
| Edad (años) | 12,7 | ± | 0,61 | 12,7 | ± | 0,61 | 0,969 |
| Peso corporal (kg) | 45,8 | ± | 10,04 | 48,9 | ± | 8,19 | 0,099 |
| Talla (cm) | 154,8 | ± | 8,65 | 155,4 | ± | 6,80 | 0,706 |
| IMC (kg/m ²) | 18,9 | ± | 3,02 | 20,2 | ± | 2,62 | 0,461 |
| Masa magra (kg) | 33,5 | ± | 6,46 | 33,3 | ± | 4,80 | 0,826 |
| Tanner pubis(I,II,III,IV,V) | (1/18/38/19/5) | | | (1/12/14/9/2) | | | 0,766 |

IMC = índice de masa corporal

En la tabla 3 se muestran las características descriptivas de los participantes por equipos. Se observaron diferencias significativas para la edad entre el equipo, Hierba Natural (HN) y el equipo de Césped Artificial Sub-base Elástica 2 (S2) ($p < 0,05$; Tabla 3). No se observaron diferencias significativas en el resto de variables ($p > 0,05$; Tabla 3).

Tabla 3. Características físicas de los participantes por superficie de juego.

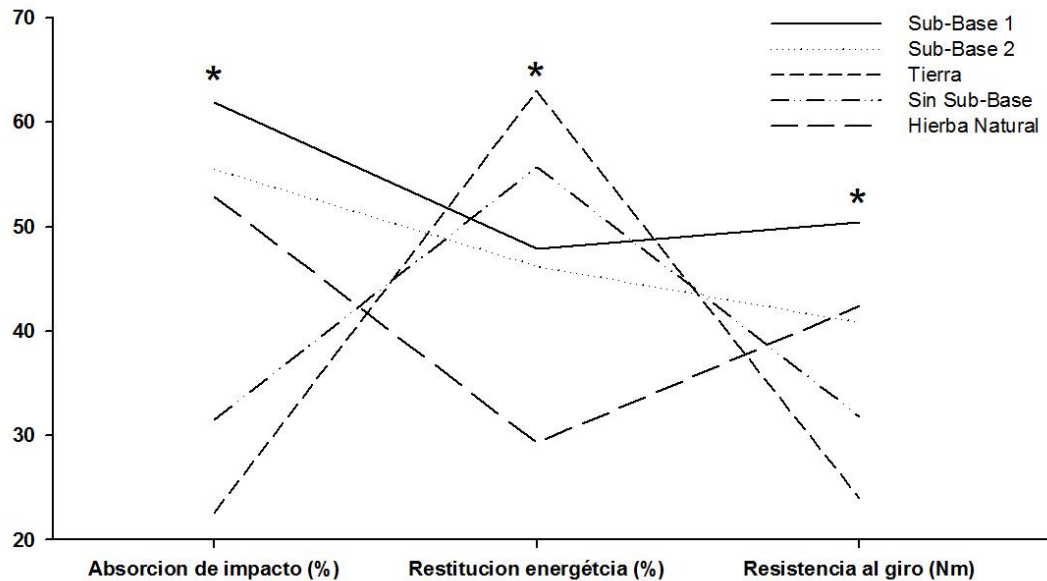
| Variables | C.A Sub-base 1 (n=18) | | C.A Sub-base 2 (n=28) | | Tierra (n=17) | | C.A Sin Sub (n=28) | | H. Natural (n=19) | | Chicas C.A Sub-base 1 (n=9) | |
|--------------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|---------|------------------|---------|-----------------------|--------|----------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE |
| Edad (años) | 12,87 | ± 0,60 | 12,96* ^{HN} | ± 0,61 | 12,49 | ± 0,66 | 12,77 | ± 0,67 | 12,37 | ± 0,34 | 12,54 | ± 0,39 |
| Peso corporal (kg) | 50,18 | ± 11,37 | 45,20 | ± 10,11 | 45,93 | ± 10,27 | 49,30 | ± 8,51 | 42,91 | ± 7,24 | 47,56 | ± 7,89 |
| Talla (cm) | 157,32 | ± 9,73 | 154,68 | ± 8,23 | 153,07 | ± 9,24 | 155,28 | ± 6,74 | 153,75 | ± 7,63 | 156,73 | ± 7,08 |
| IMC (kg/m ²) | 20,06 | ± 3,03 | 18,69 | ± 2,70 | 19,64 | ± 4,23 | 20,36 | ± 2,62 | 18,04 | ± 1,92 | 19,30 | ± 2,46 |
| Masa magra (kg) | 36,18 | ± 7,06 | 32,51 | ± 6,27 | 32,73 | ± 6,25 | 33,78 | ± 5,05 | 33,22 | ± 6,01 | 32,17 | ± 4,16 |
| Tanner pubis(I,II,III,IV,V) | (0/3/8/5/2) | | (1/6/12/9/0) | | (1/2/4/9/1) | | (0/8/11/7/2) | | (0/7/9/1/2) | | (0/4/3/2/0) | |

C.A = césped artificial; IMC = índice de masa corporal.

^{*HN} La diferencia de medias es significativa a nivel 0,05 comparado con Hierba natural.

Todas las superficies mostraron diferencias significativas entre sí para las características biomecánicas estudiadas: absorción de impacto, restitución energética y resistencia al giro rotacional ($p < 0,05$; Fig.3). Se diferenciaron las dos superficies de césped artificial con sub-base elástica según criterios RFEF. Un campo con parámetros correspondientes a nivel 1 (Sub-base 1) y otro a nivel 2 (Sub-base 2).

Figura 3. Características biomecánicas de las superficies estudiadas.



* La diferencia de medias es significativa a nivel 0,05 en todos los campos.

En la tabla 4 se muestran los valores brutos de masa ósea para las zonas clínicas analizadas para cada uno de los equipos participantes. Se observaron diferencias significativas para la DMO del cuello del fémur entre los jugadores de las superficies de césped artificial con sub-base 1 y césped artificial sin sub-base respecto a los jugadores de césped artificial con sub-base 2 ($p < 0,05$; Tabla 4). No se observaron diferencias significativas en el resto de variables ($p > 0,05$; Tabla 4).

Tabla 4. Valores brutos de masa ósea evaluados con DXA.

| Variables | C.A Sub-base 1 (n=18) | | C.A Sub-base 2 (n=28) | | Tierra (n=17) | | C.A Sin Sub (n=28) | | H. Natural (n=19) | | Chicas C.A Sub-base 1 (n=9) | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|--------|------------------|--------|----------------------------|---------------|----------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE |
| Cuello_DMO (g/cm ²) | 0,88 ^{*S2} | ± 0,10 | 0,79 | ± 0,05 | 0,80 | ± 0,12 | 0,87 ^{*S2} | ± 0,11 | 0,83 | ± 0,07 | 0,80 | ± 0,11 |
| Cuello_CMO (g) | 4,13 | ± 0,71 | 3,64 | ± 0,32 | 3,65 | ± 0,79 | 3,89 | ± 0,65 | 3,91 | ± 0,41 | 3,64 | ± 0,69 |
| Cuello_Área (cm ²) | 4,65 | ± 0,84 | 4,57 | ± 0,67 | 4,49 | ± 0,86 | 4,43 | ± 0,68 | 4,66 | ± 0,08 | 4,51 | ± 0,12 |
| Cadera_DMO (g/cm ²) | 0,95 | ± 0,12 | 0,88 | ± 0,05 | 0,87 | ± 0,12 | 0,94 | ± 0,10 | 0,92 | ± 0,08 | 0,88 | ± 0,12 |
| Cadera_CMO (g) | 30,64 | ± 7,16 | 26,44 | ± 4,21 | 26,00 | ± 6,56 | 27,39 | ± 4,93 | 27,81 | ± 4,30 | 25,30 | ± 4,96 |
| Cadera_Área (cm ²) | 31,67 | ± 4,28 | 29,92 | ± 3,76 | 29,35 | ± 4,29 | 28,86 | ± 2,91 | 30,15 | ± 2,86 | 28,62 | ± 3,12 |
| Subtotal_DMO (g/cm ²) | 0,88 | ± 0,08 | 0,81 | ± 0,06 | 0,83 | ± 0,09 | 0,87 | ± 0,07 | 0,83 | ± 0,06 | 0,84 | ± 0,07 |
| Subtotal_CMO (g) | 1,29 | ± 0,02 | 1,13 | ± 0,02 | 1,13 | ± 0,02 | 1,27 | ± 0,02 | 1,16 | ± 0,01 | 1,21 | ± 0,02 |
| Subtotal_Área (cm ²) | 1,47 | ± 0,02 | 1,38 | ± 0,01 | 1,33 | ± 0,01 | 1,45 | ± 0,01 | 1,39 | ± 0,01 | 1,42 | ± 0,01 |
| Total_DMO (g/cm ²) | 0,99 | ± 0,07 | 0,95 | ± 0,05 | 0,97 | ± 0,09 | 0,99 | ± 0,08 | 0,97 | ± 0,05 | 0,98 | ± 0,09 |
| Total_CMO (g) | 1,70 | ± 0,03 | 1,56 | ± 0,02 | 1,54 | ± 0,03 | 1,68 | ± 0,03 | 1,61 | ± 0,02 | 1,65 | ± 0,03 |
| Total_Área (cm ²) | 1,70 | ± 0,02 | 1,62 | ± 0,01 | 1,57 | ± 0,02 | 1,68 | ± 0,01 | 1,64 | ± 0,01 | 1,66 | ± 0,01 |

C.A = césped artificial; DMO = densidad mineral ósea; CMO = contenido mineral óseo; Subtotal (total – cabeza)

^{*S2} Diferencias significativas con el equipo de Césped artificial Sub-base 2 ($p < 0,05$).

En la tabla 5 se muestran las variables de masa ósea ajustadas. El equipo que entrena y juega en C.A Sin Sub-base mostró valores más elevados para el cuello del fémur DMO, Subtotal DMO, Subtotal CMO que el equipo de C.A. Sub-base 2, y valores más elevados en Subtotal Área y Total Área que el equipo de Tierra ($p<0,05$; Tabla 5). El equipo que entrena y compete en Hierba natural mostró valores más elevados en Cuello Área que los jugadores de C.A. sin sub-base y valores más elevados de Total Área que el equipo que entrena y compete en Tierra ($p<0,05$; Tabla 5). No se observaron diferencias significativas en el resto de variables ($p>0,05$; Tabla 5).

Tabla 5. Valores de masa ósea ajustados por edad, talla, peso, estado de maduración sexual y masa magra evaluados con DXA.

| Variables | C.A. Sub-base 1 (n=18) | | C.A Sub-base 2 (n=28) | | Tierra (n=17) | | C.A Sin Sub (n=28) | | H. Natural (n=19) | | Chicas C.A. Sub-base 1 (n=9) | |
|-----------------------------------|---------------------------|--------|--------------------------|--------|------------------|--------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------------|--------|
| | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE |
| Cuello_DMO (g/cm ²) | 0,86 | ± 0,01 | 0,80 | ± 0,01 | 0,82 | ± 0,02 | 0,87*^{S2} | ± 0,01 | 0,83 | ± 0,02 | 0,81 | ± 0,03 |
| Cuello_CMO (g) | 3,96 | ± 0,09 | 3,69 | ± 0,07 | 3,76 | ± 0,10 | 3,87 | ± 0,08 | 3,93 | ± 0,11 | 3,66 | ± 0,15 |
| Cuello_Área (cm ²) | 4,56 | ± 0,06 | 4,58 | ± 0,05 | 4,56 | ± 0,06 | 4,40 | ± 0,05 | 4,72*^{SS} | ± 0,07 | 4,50 | ± 0,10 |
| Cadera_DMO (g/cm ²) | 0,93 | ± 0,02 | 0,89 | ± 0,01 | 0,88 | ± 0,02 | 0,94 | ± 0,01 | 0,91 | ± 0,02 | 0,90 | ± 0,03 |
| Cadera_CMO (g) | 28,71 | ± 0,72 | 27,02 | ± 0,58 | 26,91 | ± 0,74 | 27,63 | ± 0,60 | 27,05 | ± 0,82 | 26,58 | ± 1,14 |
| Cadera_Área (cm ²) | 30,52 | ± 0,47 | 30,15 | ± 0,38 | 30,06 | ± 0,48 | 29,03 | ± 0,40 | 29,79 | ± 0,54 | 29,16 | ± 0,75 |
| Subtotal_DMO (g/cm ²) | 0,85 | ± 0,01 | 0,81 | ± 0,00 | 0,84 | ± 0,01 | 0,86*^{S2} | ± 0,00 | 0,84 | ± 0,01 | 0,85 | ± 0,01 |
| Subtotal_CMO (g) | 1,20 | ± 0,02 | 1,16 | ± 0,01 | 1,17 | ± 0,02 | 1,25*^{S2} | ± 0,01 | 1,20 | ± 0,02 | 1,23 | ± 0,03 |
| Subtotal_Área (cm ²) | 1,39 | ± 0,01 | 1,40 | ± 0,01 | 1,36 | ± 0,01 | 1,44*^T | ± 0,01 | 1,42 | ± 0,01 | 1,42 | ± 0,02 |
| Total_DMO (g/cm ²) | 0,97 | ± 0,01 | 0,95 | ± 0,01 | 0,98 | ± 0,01 | 0,99 | ± 0,01 | 0,98 | ± 0,01 | 0,99 | ± 0,02 |
| Total_CMO (g) | 1,60 | ± 0,03 | 1,58 | ± 0,02 | 1,59 | ± 0,03 | 1,66 | ± 0,02 | 1,66 | ± 0,03 | 1,66 | ± 0,04 |
| Total_Área (cm ²) | 1,63 | ± 0,01 | 1,64 | ± 0,01 | 1,60 | ± 0,01 | 1,67*^T | ± 0,01 | 1,67*^T | ± 0,01 | 1,66 | ± 0,02 |

C.A = césped artificial; DMO = densidad mineral ósea; CMO = contenido mineral óseo; Subtotal (total – cabeza)

*^{S2} Diferencias significativas con el equipo de C.A Sub-base2 ($p<0,05$), *^T con el equipo de Tierra y *^{SS} con el equipo C.A Sin Sub-base.

4. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue conocer si existen diferencias en las características biomecánicas de las diferentes superficies de juego que se pueden encontrar en el fútbol. Así como estudiar si existen diferencias en el CMO, la DMO y el área del fémur, la cadera y el cuerpo completo de futbolistas adolescentes dependiendo del tipo de superficie donde se practica el fútbol.

El principal hallazgo de este estudio es que se observan diferencias en las características de las distintas superficies estudiadas pero sobre todo, que incluso en los campos de tercera generación de césped artificial (instalados actualmente y afianzándose cada vez más como superficie estándar en la práctica deportiva del fútbol en categorías base y amateur) existen diferencias dependiendo de los materiales utilizados para su construcción. Los materiales, la construcción, el uso, el cuidado y el mantenimiento de los campos, son factores que modifican los valores de las características biomecánicas y que hacen alcanzar diferentes niveles en las clasificaciones FIFA y RFEF(31, 35, 36). Además, los datos obtenidos en este estudio sugieren que existe relación entre los valores de restitución energética de los campos de césped artificial y una mayor DMO del cuello del fémur. Este dato resulta interesante dado que en todas las clasificaciones (UNE-EN 15330, FIFA y RFEF)(31, 35, 36) no se ofrece rango de valores para la prueba *Restitución Energética*, y creemos que la relación entre los valores de esta prueba y los de absorción de impacto deberían ser tenidos en cuenta a la hora de ensayar y clasificar una superficie.

El efecto osteogénico que genera la práctica de AF de alto impacto ha sido analizado en diferentes trabajos presentes en la literatura científica(7, 13, 16). Estos estudios han revelado que los practicantes de actividades de impacto relativo como gimnasia artística, muestran una mayor adquisición de masa ósea que sujetos sedentarios, y que incluso actividades sin impacto como la natación(13). Por otro lado, la práctica del fútbol genera un estímulo osteogénico suficiente para la adquisición de una masa ósea elevada, tanto en práctica a corto plazo(19, 20) como en jugadores a largo plazo(22). Esto hace que sea necesario conocer las características que podemos controlar para favorecer la aparición del estímulo osteogénico óptimo y consecuentemente mejorar la salud ósea de los y las futbolistas. El conocimiento de las propiedades óptimas de la superficie del terreno de juego, es fundamental, ya que actualmente se está desarrollando la tecnología y podría dar un enfoque a las características de futuros campos, mejorando la salud ósea de la población practicante de este tipo de deporte.

La etapa pre-puberal es un momento óptimo para conseguir ganancias óseas, ya que una adecuada adquisición es la que va a determinar la salud del esqueleto adulto(7, 9, 11, 13, 19). Los chicos y chicas que practican AF, tienen una mayor adquisición de masa ósea que los que llevan una vida sedentaria(12, 13).

Recientemente se ha observado que jugadores preadolescentes de fútbol, mostraban unos valores más altos de DMO y CMO en las piernas, pelvis y todo el cuerpo que chicos sedentarios de la misma edad, peso, talla que los participantes del estudio, independientemente de la superficie en la que jugaban los futbolistas (Superficie dura o blanda)(15). En este estudio, se definieron dos tipos de superficies respecto a los valores que obtenían en la prueba de absorción de impacto y restitución energética, campos blandos o campos duros. No presentaron los valores de corte que utilizaron para clasificar las superficies en blandas o duras, es decir no conocemos los valores de referencia para las pruebas biomecánicas de absorción de impacto y restitución energética. No se observaron diferencias entre los grupos de superficie blanda y dura en las variables relacionadas con la salud ósea(15), es decir en CMO y DMO del cuello del fémur, cadera y todo el cuerpo. Por el contrario, en nuestro estudio, se puede observar cómo en los valores brutos, dos superficies que mostraban valores más altos de restitución energética (Sub-base 1 y Sin Sub-base), se observaban diferencias en la DMO del cuello del fémur en comparación con un campo con menor restitución energética (Sub-base 2). En nuestro estudio no se observaron diferencias entre los campos que podríamos calificar de más “duros” y los más “blandos”, es decir tierra y césped artificial. Sin embargo si observamos que los jugadores que entrenaban y jugaban en campos de césped artificial mostraban mejores valores en la DMO del cuello del fémur que lo que jugaban en superficie tradicional como la tierra. Los campos de césped artificial tienen mejor relación entre los valores de absorción de impacto y restitución energética (Sub-base 1, Sin sub-base), por el contrario las superficies tradicionales con valores muy distintos entre restitución energética y absorción de impacto, no se observaban diferencias con ningún grupo de jugadores..

En este estudio, se diferenciaron los cinco tipos para las pruebas de absorción de impacto, restitución energética y resistencia a giro rotacional. Es decir, como era de esperar, la superficie de tierra, la de césped artificial y los tres tipos de césped artificial, tenían valores muy distintos en las pruebas. Este grado de diferencia nos hace pensar que las características de los campos pueden influir de una manera más o menos positiva en la salud ósea de los adolescentes. Los valores de absorción de impacto fueron desde 62% a 23% para los más duros. La restitución energética desde 30% a 63%, observándose la mejor relación absorción-restitución en los campos de hierba artificial. Todos los valores para resistencia a giro rotacional, se encontraron entre 50 y 25 N/m, el parámetro que considera la FIFA para prevención de lesiones por quedarse enganchado con los tacos (riesgo de lesión de rodilla).

En los resultados brutos de la relación de las variables óseas obtenidos en el estudio, se puede apreciar que el equipo que practica el fútbol en el campo Sub-base 1 y el equipo que practica en campo Sin Sub-base (chicas) tienen mayor DMO en el cuello del fémur que el equipo de Sub base 2. Coincide que los campos de los dos primeros equipos muestran valores más altos de restitución energética que el terreno de juego dónde entrena y juega Sub base 2. El equipo de Sub-base 1 y el equipo Sin Sub-base mostraron valores superiores de DMO en el cuello del fémur que Sub-base2. Estos resultados

pueden ser debidos a que tanto el equipo de Sub-base 1 como el Sin Sub-base estaban formados por chicas. Estas tienen un desarrollo madurativo más precoz que los chicos y consecuentemente su DMO puede haberse visto aumentada. Además, tanto el campo de Sub-base 1 como el campo de Sin Sub-base mostraron valores mayores de restitución de energía que el campo de Sub-base 2. Un valor mayor de restitución de energía significa que el campo devuelve más energía, es decir, el estímulo osteogénico que se produce en sus practicantes es mayor.

En los resultados obtenidos una vez hemos ajustado por edad, talla, peso, Tanner y masa magra, se observa diferencias entre Sin Sub-base y Sub-base 2, en la DMO cuello del fémur, el CMO y la DMO en el subtotal de todo el cuerpo. Estos resultados, deben de ser entendidos con cautela, dado que pueden venir influenciados, por las diferencias entre sexos. Llama la atención que se observa una mayor área del total del cuerpo, en los jugadores de Hierba Natural y Sin Sub-base, respecto a los jugadores de Tierra. El campo de Tierra es el que presenta valores más altos de restitución energética y valores más bajos de absorción, lo que al parecer ofrecería un mayor estímulo osteogénico. Desde nuestro punto de vista, no es tan importante los valores extremos obtenidos en estas pruebas, sino la relación entre ellas, es decir, tener valores altos de absorción de impacto no es opuesto a tener valores altos de restitución energética. La búsqueda de la relación óptima es a donde deben apuntar futuros estudios, ya que al construir los campos de césped artificial se pueden controlar los factores que condicionan las características biomecánicas de la superficie, y sería muy positivo encontrar la mejor relación entre confort y estímulo osteogénico suficiente (Relación entre Absorción de impacto, y restitución energética).

La tecnología que se emplea actualmente para la construcción de campos de césped artificial de tercera generación, tiene muchos componentes y materiales que pueden modificar las propiedades biomecánicas de la superficie, recientemente se han encontrado diferencias en estas propiedades dependiendo del tamaño del relleno empleado de caucho, o si se emplea arena(25). El grosor de la sub-base empleada también puede modificar las propiedades de absorción. Es necesario determinar que valores para absorción de impacto y restitución energética son los óptimos para generar un estímulo suficiente para el desarrollo óseo y para evitar las posibles lesiones articulares y musculares por la dureza del terreno (valores bajos de absorción de impacto). Es decir, los campos no deben de ser duros, pero tampoco pueden restituir poca energía, ya que tendríamos la sensación de correr en la playa. La creación de superficies artificiales, hace posible controlar estos parámetros, ya que en las superficies tradicionales, difícilmente se pueden modificar. El conocimiento de unos valores de referencia tanto para la absorción de impacto como para la restitución energética, nos haría poder conseguir el efecto osteogénico necesario para el desarrollo del esqueleto de los jugadores, ya que es bien conocida la relación entre la actividad física y el periodo de crecimiento(39).

Estudios actuales realizados en césped artificial de tercera generación, han estudiado como en este tipo de superficies pueden conseguir un rendimiento similar o incluso

mejor que en superficies tradicionales (tierra y hierba natural)(34). En este estudio se observó como para pruebas de agilidad en jugadores de fútbol se obtienen mismos resultados en hierba natural y césped artificial, tampoco encontraron diferencias en pruebas de esfuerzo en el índice de fatiga, y se observó mayor percepción de esfuerzo en hierba natural. Pero en este como en otros estudios, la percepción de la comodidad siempre es mayor en los campos de hierba natural,(33, 34). En el aspecto de las lesiones, no se encuentran más lesiones en las superficies de césped artificial en comparación con la hierba natural(31).

Es necesario nuevos estudios que clarifiquen de qué manera pueden influenciar las superficies de juego de césped artificial que actualmente, se están imponiendo a las superficies naturales de césped y tierra, en la salud ósea de los jugadores, así como realizar investigaciones acerca de la influencia que pueden tener estos campos en las lesiones de sus usuarios. Estudios de carácter longitudinal, ayudarían a clarificar de qué manera modifican las propiedades biomecánicas de las superficies la composición corporal de sus practicantes.

Otros datos que podrían incluirse en estudios de estas características son las horas de práctica de cada equipo por semana, estudios del calzado en estas nuevas superficies de juego o análisis en profundidad de partes del tren inferior en jugadores, tales como el calcáneo.

5.LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FORTALEZAS

La gran cantidad de participantes, un total de 119 jugadores, ha sido un punto fuerte del estudio, ya que el trabajo de valoración de los participantes es costoso. Por otra parte, el obtener jugadores que practiquen el fútbol en las tres superficies de juego disponibles para esta actividad, da valor al estudio. Ciertamente es, que siempre se podría haber contado con la participación de más de un equipo por superficie de juego, pero sobre todo complicaba la investigación la dificultad de encontrar a equipos que entrenaran en hierba natural y tierra, ya que cada vez se construyen más campos de césped artificial y la mayoría no tienen certificación según la FIFA o RFEF. La creación de nuevas superficies, da la importancia de estudiar cómo pueden repercutir en los futbolistas, para poder mejorarlas y que adquieran características óptimas para los jugadores que realizan actividad física en ellas.

El obtener los datos de composición corporal, por tecnología DXA da, unos valores muy fiables, y prestigio a la investigación. Existen otras formas de valorar la composición corporal mediante el estudio del desplazamiento del aire (BOD-POD), pesada hidrostática o incluso por estudio antropométrico y pliegues, pero la

Absorciometría Dual de rayos X, es un método referencia para la valoración de la masa ósea, y encontramos multitud de estudios en la literatura científica dónde se le compara con otros métodos(29, 30, 32, 38, 39). Sobretudo cobra importancia a la hora de valorar la composición ósea de los sujetos. Contar con las pruebas y los métodos de valoración propuestas por la FIFA, nos confirma el buen análisis de las características biomecánicas de las superficies de juego.

Este estudio es de carácter transversal, lo que limita en medida en conocer la progresión en el desarrollo óseo de los jóvenes deportistas que participan en él. Al tratarse de un estudio transversal, los datos para las variables de tienen en un determinado momento, sin poder comparar la mejoría con otras valoraciones posteriores en el tiempo. Es necesario estudios longitudinales, para observar los cambios y diferencias en un mismo grupo con el paso del tiempo.

6.CONCLUSIONES

Las propiedades biomecánicas de los cinco tipos de campo estudiados son significativamente diferentes entre sí. Además los equipos que juegan y entrenan en campos con valores mayores de restitución energética tienen mayores valores de DMO en el cuello del fémur. El conocimiento de la influencia que puede tener la superficie de juego en la composición corporal de los practicantes es especialmente relevante en las superficies de césped de tercera generación. Es necesario realizar más estudios para determinar que valores de las pruebas biomecánicas para las superficies de césped artificial pueden favorecer a un mayor estímulo osteogénico, así como incluir valores modelo de la prueba restitución energética en las clasificaciones empleadas para la homologación de campos. Existen diferencias significativas de las propiedades biomecánicas entre los campos de césped artificial de tercera generación construidos con o sin sub-base elástica e incluso entre los construidos con sub-base elástica que obtienen diferentes niveles de calificación.

7.AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos al grupo de investigación GENUD (Growth, Exercise, Nutrition and Development) de la Universidad de Zaragoza por su disponibilidad y colaboración en la provisión de los aparatos utilizados durante la investigación, especialmente a Ángel Matute por su paciencia y su buen consejo, así como a mí tutor José Antonio Casajús por dirigir mi trabajo fin de grado. Agradecer a Luis Castroviejo, del laboratorio de investigación y desarrollo de la hierba artificial para instalaciones deportivas (Mondo Tufting), por la ayuda en las valoraciones de los terrenos de juego.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Moayeri A. The association between physical activity and osteoporotic fractures: a review of the evidence and implications for future research. *Ann Epidemiol.* 2008 Nov;18(11):827-35.
2. Babatunde OO, Forsyth JJ. Quantitative Ultrasound and bone's response to exercise: a meta analysis. *Bone.* 2013 Mar;53(1):311-8.
3. Rizzoli R, Bonjour JP. Determinants of peak bone mass and mechanisms of bone loss. *Osteoporos Int.* 1999;9 Suppl 2:S17-23.
4. Karlsson M, Nordqvist, A, Karlsson, C. Physical activity increases bone mass during growth. 2008.
5. Mughal MZ, Khadilkar AV. The accrual of bone mass during childhood and puberty. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* 2011 Feb;18(1):28-32.
6. Ausili E, Rigante D, Salvaggio E, Focarelli B, Rendeli C, Ansuini V, et al. Determinants of bone mineral density, bone mineral content, and body composition in a cohort of healthy children: influence of sex, age, puberty, and physical activity. *Rheumatol Int.* 2012 Sep;32(9):2737-43.
7. Lima F, De Falco V, Baima J, Carazzato JG, Pereira RM. Effect of impact load and active load on bone metabolism and body composition of adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Aug;33(8):1318-23.
8. Vicente-Rodriguez G, Jimenez-Ramirez J, Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA. Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone.* 2003 Nov;33(5):853-9.
9. Tenforde AS, Fredericson M. Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *Pm R.* 2011 Sep;3(9):861-7.
10. Maimoun L, Coste O, Philibert P, Briot K, Mura T, Galtier F, et al. Peripubertal female athletes in high-impact sports show improved bone mass acquisition and bone geometry. *Metabolism.* 2013 Aug;62(8):1088-98.
11. RFEF. Licencias. Fútbol. Fútbol Sala. Clubes y Equipos. 2013.
12. Carmona MP, Vicente-Rodriguez G, Martin-Garcia M, Burillo P, Felipe JL, Mata E, et al. Influence of hard vs. soft ground surfaces on bone accretion in prepubertal footballers. *Int J Sports Med.* 2014 Jan;35(1):55-61.
13. Zouch M, Jaffre C, Thomas T, Frere D, Courteix D, Vico L, et al. Long-term soccer practice increases bone mineral content gain in prepubescent boys. *Joint Bone Spine.* 2008 Jan;75(1):41-9.
14. El Hage R. Geometric indices of hip bone strength in young female football players. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2013 Jun;13(2):206-12.
15. Calbet JA, Dorado C, Diaz-Herrera P, Rodriguez-Rodriguez LP. High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Oct;33(10):1682-7.
16. Zouch M, Vico L, Frere D, Tabka Z, Alexandre C. Young male soccer players exhibit additional bone mineral acquisition during the peripubertal period: 1-year longitudinal study. *Eur J Pediatr.* 2014 Jan;173(1):53-61.
17. Fuchs RK, Snow CM. Gains in hip bone mass from high-impact training are maintained: a randomized controlled trial in children. *J Pediatr.* 2002 Sep;141(3):357-62.
18. Uzunca K, Birtane M, Durmus-Altun G, Ustun F. High bone mineral density in loaded skeletal regions of former professional football (soccer) players: what is the

- effect of time after active career? *Br J Sports Med.* 2005 Mar;39(3):154-7; discussion - 7.
19. Wittich A, Mautalen CA, Oliveri MB, Bagur A, Somoza F, Rotemberg E. Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density and size than age- and BMI-matched controls. *Calcif Tissue Int.* 1998 Aug;63(2):112-7.
 20. Sanchis M. *Introducción histórica y componentes constructivos de la hierba artificial*: Instituto de biomecánica de Valencia; 2008.
 21. Alcántara E, Gamez, J ; Rosa, D ; Sanchis, M. Analysis of the influence of rubber infill morphology on the mechanical performance of artificial turf surfaces for soccer. *Journal of sports engineering and technology.* 2009.
 22. Norton K, Olds, T (1996) *Antropometría*. UNSW Press, Sydney.
 23. Tanner JM, Whitehouse, RH (1976) Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Arch Dis Child* 51:170-17924.
 24. FIFA. *FIFA Quality Concept for Football Turf. Handbook of Requirements*. Zurich: Federation Internationale de Football Association ed; 2012.
 25. Zanetti EM, Bignardi C, Franceschini G, Audenino AL. Amateur football pitches: mechanical properties of the natural ground and of different artificial turf infills and their biomechanical implications. *J Sports Sci.* 2013;31(7):767-78.
 26. Duke PM, Litt IF, Gross RT. Adolescents' self-assessment of sexual maturation. *Pediatrics.* 1980 Dec;66(6):918-20.
 27. Rosa D. *Aspectos biomecánicos de la hierba artificial*: Instituto de biomecánica de Valencia; 2008.
 28. Sanchis M. *Evaluación de la función deportiva de un pavimento de hierba artificial*: Instituto de biomecánica de Valencia; 2008.
 29. Ball SD, Altena TS. Comparison of the Bod Pod and dual energy x-ray absorptiometry in men. *Physiol Meas.* 2004 Jun;25(3):671-8.
 30. Ballard TP, Fafara L, Vukovich MD. Comparison of Bod Pod and DXA in female collegiate athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Apr;36(4):731-5.
 31. Barón Jimenez JA, Ferreira Cordeiro, M. . *Criterios FIFA y propiedades biomecánicas relacionadas con la performance y epidemiología del deportista en las superficies de césped artificial*.
 32. Bentzur K, Kravitz, L, and Lockner, DW. Evaluation of the BOD POD for estimating percent body fat in collegiate track and field female athletes: a comparison of four methods. *J Strength Cond Res.* 1985-1991 2008;22(6).
 33. Burillo P, Gallardo L, Felipe JL, Gallardo AM. Artificial turf surfaces: perception of safety, sporting feature, satisfaction and preference of football users. *Eur J Sport Sci.* 2014;14 Suppl 1:S437-47.
 34. Díez O, Burillo, P. Influence of playing surface in performance of amateur football players: natural grass, artificial turf and dirt field. *AGON International Journal of Sport Sciences.* 2012;2(2):106-114.
 35. FIFA. *Concepto de calidad FIFA para césped artificial*.
 36. Gallardo Guerrero AM. *El césped artificial, hacia la excelencia en la gestión de los campos de fútbol*.
 37. Gallardo L, Sánchez-Sánchez, J , Gallardo, A , Felipe, J. L. y Burillo, P. . *Accreditation soccer fields with artificial turfs:: Guarantee of success*. *Revista euroamericana de ciencias del deporte.* 2013;2(1):59-66.
 38. Lazzar S, Bedogni G, Agosti F, De Col A, Mornati D, Sartorio A. Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and

bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in severely obese Caucasian children and adolescents. *Br J Nutr.* 2008 Oct;100(4):918-24.

39. Warden SJ, Fuchs RK. Exercise and bone health: optimising bone structure during growth is key, but all is not in vain during ageing. *Br J Sports Med.* 2009 Dec;43(12):885-7.

40. Clemens Müller TS, Thomas L. Milani. Stud length and stud geometry of soccer boots influence running performance on third generation artificial turf.