

# Trabajo Fin de Máster

*Influencia del césped artificial de tercera generación en la masa ósea de jóvenes futbolistas durante una temporada*

---

*Influence of third-generation artificial turf on bone mass in young soccer players: 1-year follow-up*

Juan Rabal Pelay

**Director:** Dr. José Antonio Casajús Mallén

Máster en Evaluación y Entrenamiento Físico para la Salud

7 de Septiembre de 2015

## RESUMEN

Introducción: Actualmente no se conoce el efecto que puede tener el césped artificial de tercera generación sobre el desarrollo óseo de jóvenes futbolistas. Por ello, los objetivos de este estudio fueron: (1) observar si existen diferencias entre las propiedades biomecánicas de las superficies analizadas y (2) analizar si existen diferencias en la densidad mineral ósea (DMO) y en el contenido mineral óseo (CMO) de jóvenes futbolistas a lo largo de una temporada.

Material y método: 46 chicos futbolistas de entre 11 y 14 años participaron en este estudio. Participaron 2 equipos de la provincia de Zaragoza. Cada equipo entrenó y compitió en un tipo de superficie de césped artificial. Se evaluó la masa ósea mediante absorciometría dual de rayos x, antropometría según normas ISAK, los estadios de maduración sexual de los participantes de acuerdo con la clasificación propuesta por Tanner y Whitehouse, al inicio y final de la temporada. Las características biomecánicas de las superficies de juego se analizaron según normativa FIFA.

Resultados: Se observaron diferencias significativas entre las superficies de juego ( $p<0,05$ ). No se observaron diferencias en las características físicas (talla, peso, edad) entre los equipos. En las variables óseas se encontraron diferencias significativas en CMO cuello del fémur y subtotal del cuerpo así como la DMO del cuello del fémur y extremidades inferiores, entre los grupos ( $p<0,05$ ).

Conclusiones: Las propiedades biomecánicas de los campos estudiados son significativamente diferentes entre sí. El equipo que juega y entrena en el campo de césped artificial con valores mayores de restitución energética muestra mayores valores de DMO en el cuello del fémur y extremidades inferiores, y CMO en subtotal y cuello del fémur.

Palabras clave: Masa ósea, Adolescentes, Actividad Física, Fútbol, Césped artificial.

## ABSTRACT

Introduction: Currently, effects that may have different playing surfaces on bone development in young footballers are not known. Therefore, the aim of this study was to observe if there were differences in the biomechanical properties of the artificial turf, and how these could affect to bone development in young footballers during a season.

Methods: 46 players aged between 11 and 14 years old participated in this study. The sample consisted of 2 teams of Zaragoza. Each team trains and competes in a single artificial turf pitch. Bone mass was assessed by dual x-ray absorptiometry, anthropometry as recommended by ISAK and the stages of sexual maturation of the participants according to the classification proposed by Tanner and Whitehouse, at the beginning and end of the season. Biomechanical

characteristics of the playing surfaces were studied according to FIFA rules.

Results: Significant differences in all tests among all playing surfaces ( $p<0,05$ ). No differences in physical characteristics (height, weight, age) were observed between teams. In bone variables were found significant differences in CMO femoral neck and the subtotal of the body, DMO femoral neck and lower limbs between groups( $p<0,05$ ).

Conclusions: Biomechanical properties studied are significantly different between surfaces. The team that play and train on turf pitch with higher values of energy restitution has higher bone mass density values at the femoral neck and lower limbs, and higher bone mass content values at femoral neck and subtotal of the body.

Keywords: Bone mass, Adolescent, Physical activity, Soccer, Artificial turf.



# ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>pág.1</b>
<b>2. Material y método.....</b>	<b>pág.2</b>
a. <b>Participantes.....</b>	<b>pág.2</b>
b. <b>Medidas de la composición corporal.....</b>	<b>pág.3</b>
c. <b>Medidas antropométricas.....</b>	<b>pág.3</b>
d. <b>Índice de maduración sexual.....</b>	<b>pág.3</b>
e. <b>Superficies de juego.....</b>	<b>pág.3</b>
f. <b>Ánalisis estadístico.....</b>	<b>pág.6</b>
<b>3. Resultados.....</b>	<b>pág.6</b>
<b>4. Discusión.....</b>	<b>pág.11</b>
<b>5. Limitaciones y fortalezas.....</b>	<b>pág.14</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>pág.15</b>
<b>7. Agradecimientos.....</b>	<b>pág.15</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>pág.16</b>

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre los beneficios que el ejercicio físico aporta a la salud de las personas(20), se encuentra la reducción de fracturas óseas tanto en hombres como en mujeres(29), debido a que la actividad física (AF) y el ejercicio actúan como factor protector contra la aparición de la osteoporosis (4, 25, 46). La osteoporosis, enfermedad que afecta a la densidad del tejido óseo y acrecienta la fragilidad, afecta especialmente a las personas de mediana edad(12, 29, 33), pero el determinante clave para la salud del esqueleto en la etapa adulta es la adquisición de una adecuada masa ósea durante la infancia y la adolescencia(35, 46, 50). La AF y el ejercicio físico juegan un papel fundamental contribuyendo a lograr ganancias óptimas de masa ósea en etapas especialmente sensibles como son la infancia y la adolescencia(3, 25, 27, 28). La práctica de deportes, en los que ocurren acciones de alto impacto como los cambios de dirección, los saltos o los choques, tales como el baloncesto, el fútbol o el balonmano, provocan estímulos osteogénicos óptimos para el correcto desarrollo del hueso(3, 25, 27, 28, 31, 45, 48, 58).

En la temporada 2013-2014 el número de licencias de jugadores de fútbol es de 714.127, según datos de la Real Federación Española de Fútbol (RFEF), (34). A pesar del gran número de practicantes de este deporte, todavía no se conocen todos los beneficios que puede aportar a la composición corporal de los deportistas. En la literatura científica, se han descrito mejoras en la masa ósea en la zona de la cadera y las extremidades inferiores, también en la columna lumbar y el cuerpo completo en los futbolistas independientemente del sexo(10, 16, 17, 30, 45, 55-57). Lo más positivo de estas mejoras, es que permanecen en el tiempo incluso una vez abandonado el deporte(21, 46, 47, 52). Por ello, es importante estudiar cómo puede afectar el fútbol en la composición corporal, y específicamente en la masa ósea, durante la adolescencia ya que determinadas intervenciones con AF pueden ser empleadas como factor protector contra la aparición de fracturas en la edad adulta debido al aumento de la densidad mineral ósea (DMO)(10, 11, 21, 48).<sup>1</sup>

Por otro lado, el desarrollo de nuevas instalaciones deportivas desde los años setenta, ha provocado cambios en las superficies de juego de deportes como el fútbol, el rugby o el hockey(9, 14, 40). El césped artificial es cada vez más empleado para construir nuevos campos de fútbol, sustituyendo las tradicionales superficies de tierra y césped natural(1, 8, 22, 39). El césped artificial de tercera generación (3G)(última generación desarrollada) muestra mayor seguridad y funcionalidad deportiva que generaciones anteriores(8, 9, 53).. El gran número de componentes utilizados para la construcción de césped artificial de 3G, hace que las superficies de juego puedan mostrar diferencias en sus características biomecánicas(37). Este hecho, hace

que sea importante conocer, si el estímulo osteogénico generado por el fútbol, puede verse comprometido por el uso de superficies de césped artificial. Una de las mayores diferencias en el diseño y construcción de estos terrenos de juego, es si se usa o no, una sub-base de capa elástica, lo que podría implicar diferencias en la absorción de impacto.

Por lo tanto los objetivos del presente estudio fueron: (1) conocer las características biomecánicas, que interaccionan con los jugadores, de los dos tipos de superficie (con o sin sub-base) de césped artificial de tercera generación y (2) estudiar si existen diferencias en el contenido mineral óseo (CMO) y la densidad mineral ósea (DMO) del cuello del fémur, la cadera total, las extremidades inferiores, la columna lumbar (L1-L4) y el cuerpo completo en adolescentes futbolistas en función la superficie de juego a lo largo de una temporada completa.

## 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. El estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki de 1961 (revisión de Fortaleza en 2013) y el protocolo fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Gobierno de Aragón [C.I. PI13/0091]. Además, el proyecto de investigación ha sido registrado en la base de datos pública Clinicaltrials.gov [NCT02399553]. Las evaluaciones a los participantes se realizaron entre los meses de Septiembre de 2013 y Junio de 2014.

### Participantes

La muestra con la que se contó para realizar el estudio fue de 46 chicos jugadores de fútbol de 2 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 las dos superficies de juego de césped artificial de tercera generación (con y sin sub-base elástica) donde entrenaban y jugaban como locales, cada uno de los equipos. Ambos equipos entrenaban 3 horas y media a la semana en sus respectivos campos.

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. 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, las extremidades inferiores, la región lumbar, la cadera y el cuello del fémur se midió mediante absorciometría dual de rayos-x (DXA) (QDR-Explorer, Hologic Corp., Software versión 12.4, Waltham, MA, USA). Se realizó una exploración de cuerpo completo, y posteriormente de la cadera y su subregión (cuello femoral) y de la zona lumbar (L<sub>1</sub>-L<sub>4</sub>). 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(44), los cuales han sido validados(15), y ha sido utilizada en otros estudios con adolescentes(11, 25, 26).

### **Superficies de juego**

#### **1. Características de los sistemas de césped artificial**

En la actualidad los campos de tercera generación que se instalan, cuentan con un gran número de componentes estructurales, los cuales pueden ser construidos con distintos materiales y características. Los campos seleccionados no tienen un uso mayor a 5 años, ambos con ausencia de mantenimiento, y la tipología de material y componentes similar, a excepción de la capa elástica de SBR encapsulado en poliuretano. En la tabla 1, se resumen los componentes estructurales de las dos superficies del estudio.

Tabla 1. Material y componentes estructurales de las superficies

Campo	Sub-base	Capa elástica	Relleno			Fibra	
			Arena	Caucho	Granulometría	Tipo	Altura
1	Grava compactada	No	Sílice	SBR	0.5-2.5 mm	Mono-filamento	60mm
2	Grava compactada	Si (17mm espesor)	Sílice	ECOFILL	0.5-2.5 mm	Mono-filamento	45mm

Fig. 1 Sistema Sin Sub-base



Fig.2. Sistema Con Sub-base



## 2. Valoración de la función deportiva

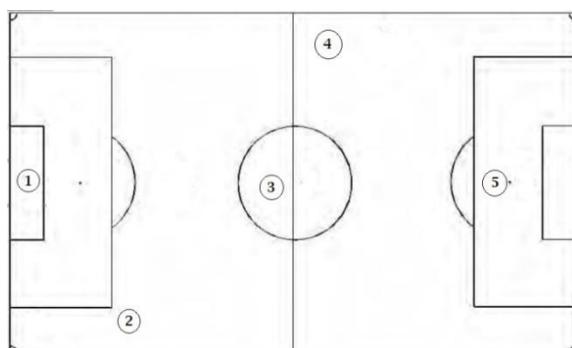
La valoración de las superficies de los 2 campos (1 de césped artificial sin sub-base, 1 de césped artificial con sub-base elástica), se llevó a cabo según los criterios FIFA para la valoración de superficies de hierba artificial en fútbol(19).

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 2. Valores para acreditación de un campo según normativa.*

	<b>UNE-EN 15330</b>	<b>RFEF Nivel 1</b>	<b>RFEF Nivel 2</b>	<b>FIFA 1 star</b>	<b>FIFA 2 stars</b>
<b>Rebote vertical</b>	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
<b>Rodadura horizontal</b>	4-10 m	4-13 m	4-10 m	4-10 m	4-8 m
<b>Absorción impactos</b>	55-70 %	55-70 %	45-70 %	60-70 %	55-70 %
<b>Deformación vertical</b>	4-10 mm	3-10 mm	4-10 mm	4-10 mm	4-11 mm
<b>Resistencia Rotacional</b>	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 3). 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 tuvieron en cuenta las siguientes pruebas: absorción de impacto, restitución energética (Figura 4) , resistencia al giro rotacional y deformación vertical, ya que son las relacionadas con la interacción entre el sujeto y la superficie del campo(36, 41).

*Figura 3. Puntos del campo dónde se realizaron las pruebas de función deportiva.**Figura 4. 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  $T^{\circ}$  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 varianza (ANOVA) y un análisis de covarianza (ANCOVA), usando como covariables la talla, el estado de maduración sexual, la masa magra y el área ósea de los participantes. También se realizó un análisis de medidas repetidas teniendo en cuenta el factor tiempo, utilizando las covariables talla, estado de maduración sexual, masa magra y área ósea de la valoración inicial. 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 al principio de temporada (Evaluación A) y al final de la temporada (Evaluación B) se muestran en la tablas 3. No se encontraron diferencias entre los equipos, para las variables edad, talla, índice de masa corporal, peso corporal, Tanner pubis y masa magra, en la valoración inicial y final de la temporada ( $p>0,05$ ). La N se vio afectada, dado que se perdieron 3 sujetos, en la evaluación B, debido a que no pudieron asistir al laboratorio en la fecha programada.

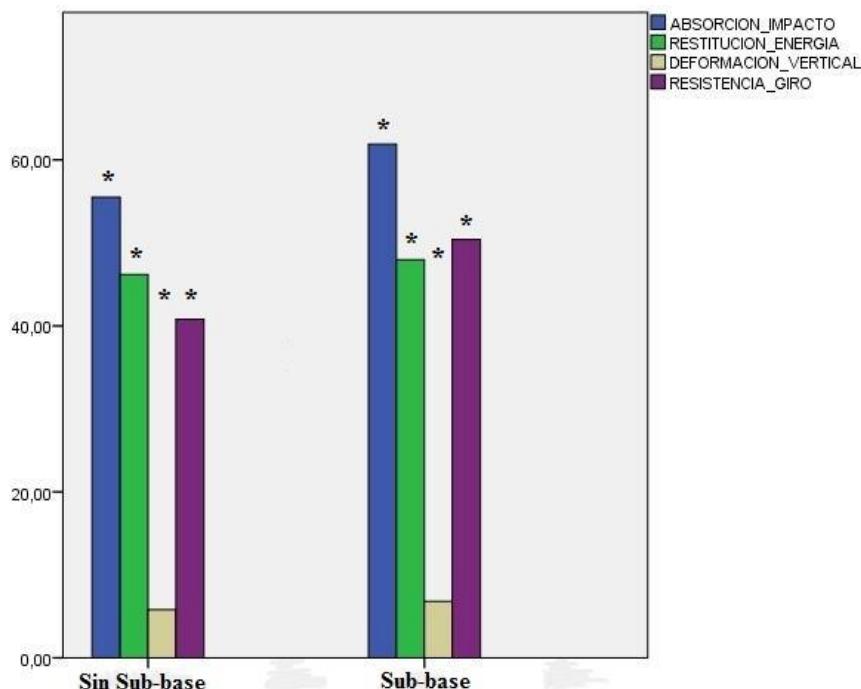
*Tabla 3. Características físicas de los participantes por superficie de juego al inicio y al final de la temporada.*

Variables A	Inicio temporada					
	Sin Sub-base (n=28)		Sub-base (n=18)		P	
	Media	DE	Media	DE		
Edad (años)	12,9	± 0,61	12,8	± 0,60	0,934	
Peso corporal (kg)	45,2	± 10,11	50,1	± 11,37	0,344	
Talla (cm)	154,6	± 8,23	157,3	± 9,73	0,181	
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	18,7	± 2,70	20	± 3,03	0,475	
Masa magra (kg)	32,5	± 6,27	36,1	± 7,06	0,577	
Tanner pubis(I,II,III,IV,V)	(1/6/12/9/0)		(0/3/8/5/2)		0,412	
Final temporada						
Variables B	Sin Sub-base (n=27)		Sub-base (n=16)		P	
	Media	DE	Media	DE		
	12,9	± 0,61	12,8	± 0,60	0,934	
Peso corporal (kg)	47,6	± 11,42	54,9	± 12,86	0,300	
Talla (cm)	159	± 8,75	162,3	± 10,39	0,300	
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	18,6	± 2,86	20,6	± 3,29	0,239	
Masa magra (kg)	35	± 7,56	39,9	± 8,37	0,605	
Tanner pubis(I,II,III,IV,V)	(1/2/9/11/4)		(0/2/5/8/1)		0,788	

DE: Desviación estándar; IMC: índice de masa corporal

Ambos campos mostraron los valores de Absorción de Impacto, Deformación Vertical y Resistencia al giro, dentro de los parámetros de FIFA 1 Star. Estas variables junto a los valores obtenidos en la prueba Restitución de Energía, muestran diferencias significativas entre superficies de juego ( $p<0,05$ ) (Figura 5).

Figura 5. Características biomecánicas de las superficies de juego estudiadas



En la tabla 4 se muestran los valores brutos de masa ósea para las zonas clínicas analizadas a cada uno de los dos grupos de jugadores divididos por equipo/superficie. En la evaluación A y en la evaluación B, se observan diferencias significativas en el CMO del cuerpo total, cuello del fémur y cadera total, así como en la DMO del cuello del fémur y la cadera total, ( $p<0,05$ ). Además en la valoración al final de la temporada, también hay diferencias significativas en la DMO del cuerpo total, ( $p<0,05$ ). No se encontraron diferencias significativas en el resto de variables ( $p>0,05$ ).

Tabla 4. Valores brutos de masa ósea evaluados con DXA al inicio (Evaluación A) y final (Evaluación B) de temporada.

Variables	Inicio temporada						Final de temporada					
	Sin Sub-base (n=28)			Sub-base (n=18)			Sin Sub-base (n=27)			Sub-base (n=16)		
	Media	DE	Media	DE	P	Media	DE	Media	DE	P	Media	DE
CMO	WB (Kg)	<b>1,564</b>	$\pm$ <b>0,22</b>	<b>1,703</b>	$\pm$ <b>0,32</b>	<b>0,039*</b>	<b>1,731</b>	$\pm$ <b>0,29</b>	<b>1,963</b>	$\pm$ <b>0,41</b>	<b>0,028*</b>	
	SUB (Kg)	1,136	$\pm$ 0,21	1,298	$\pm$ 0,29	0,067	1,281	$\pm$ 0,27	1,509	$\pm$ 0,36	0,061	
	LLIMBS (Kg)	0,620	$\pm$ 0,12	0,708	$\pm$ 0,16	0,094	0,701	$\pm$ 0,14	0,814	$\pm$ 0,18	0,051	
	NECK (g)	<b>3,645</b>	$\pm$ <b>0,12</b>	<b>4,137</b>	$\pm$ <b>0,71</b>	<b>0,002**</b>	<b>3,953</b>	$\pm$ <b>0,40</b>	<b>4,507</b>	$\pm$ <b>0,78</b>	<b>0,006**</b>	
	HTOT (g)	<b>26,44</b>	$\pm$ <b>4,21</b>	<b>30,64</b>	$\pm$ <b>7,16</b>	<b>0,008**</b>	<b>29,39</b>	$\pm$ <b>5,21</b>	<b>33,89</b>	$\pm$ <b>8,47</b>	<b>0,028*</b>	
	TOT (g)	34,52	$\pm$ 6,85	37,70	$\pm$ 9,44	0,120	38,85	$\pm$ 8,91	43,48	$\pm$ 11,7	0,108	
DMO (g/cm <sup>2</sup> )	WB	0,957	$\pm$ 0,05	0,995	$\pm$ 0,07	0,100	<b>1,016</b>	$\pm$ <b>0,05</b>	<b>1,052</b>	$\pm$ <b>0,09</b>	<b>0,020*</b>	
	SUB	0,813	$\pm$ 0,06	0,881	$\pm$ 0,03	0,286	0,874	$\pm$ 0,07	0,934	$\pm$ 0,09	0,112	
	LLIMBS	1,979	$\pm$ 0,20	2,212	$\pm$ 0,23	0,487	2,180	$\pm$ 0,20	2,376	$\pm$ 0,28	0,153	
	NECK	<b>0,796</b>	$\pm$ <b>0,05</b>	<b>0,886</b>	$\pm$ <b>0,10</b>	<b>0,001**</b>	<b>0,842</b>	$\pm$ <b>0,05</b>	<b>0,929</b>	$\pm$ <b>0,05</b>	<b>0,001**</b>	
	HTOT	<b>0,881</b>	$\pm$ <b>0,05</b>	<b>0,958</b>	$\pm$ <b>0,12</b>	<b>0,000**</b>	<b>0,925</b>	$\pm$ <b>0,06</b>	<b>1,010</b>	$\pm$ <b>0,13</b>	<b>0,001**</b>	
	TOT	0,717	$\pm$ 0,07	0,765	$\pm$ 0,11	0,125	0,765	$\pm$ 0,08	0,825	$\pm$ 0,11	0,310	

DE=Desviación estándar; WB= Cuerpo total; SUB= Subtotal (Cuerpo total – cabeza); LLIMBS= Extremidades inferiores; NECK= Cuello del fémur; HTOT= Cadera total; TOT= Columna lumbar; BMC= Contenido mineral óseo; BMD= Densidad mineral ósea

Tabla 5. Valores de masa ósea ajustados por estado de maduración sexual, talla, masa magra y área ósea evaluados con DXA al inicio (Evaluación A) y al final (Evaluación B) de temporada.

Variables	Inicio temporada						Final temporada						Medidas Repetidas I-J		
	Sin Sub-base (n=28)			Sub-base (n=18)			Sin Sub-base (n=27)			Sub-base (n=16)					
	Media	DE	Media	DE	P	Media	DE	Media	DE	P	Media	DE	P		
CMO(g)	WB	1606	± 16,2	1638	± 20,5	0,243	1797	± 24,3	1852	± 32,3	0,192	43,34	± 33,6	0,206	
	SUB	<b>1179</b>	± <b>11,4</b>	<b>1232</b>	± <b>14,4</b>	<b>0,008**</b>	1344	± 18,9	1403	± 25,0	0,080	<b>56,34</b>	± <b>24,6</b>	<b>0,028*</b>	
	LLIMBS	<b>644,1</b>	± <b>7,80</b>	<b>672,1</b>	± <b>9,89</b>	<b>0,037*</b>	732,8	± 11,8	761,9	± 15,6	0,162	27,55	± 15,8	0,091	
	NECK	<b>3,716</b>	± <b>0,06</b>	<b>4,029</b>	± <b>0,08</b>	<b>0,005**</b>	<b>4,049</b>	± <b>0,07</b>	<b>4,345</b>	± <b>0,09</b>	<b>0,020*</b>	<b>0,306</b>	± <b>0,11</b>	<b>0,008**</b>	
	HTOT	27,37	± 0,63	29,19	± 0,80	0,093	30,56	± 0,77	31,91	± 1,02	0,315	1,612	± 1,17	0,176	
	TOT	35,68	± 0,73	35,91	± 0,92	0,851	40,46	± 0,94	40,78	± 1,24	0,844	0,597	± 1,38	0,668	
DMO(g/cm <sup>2</sup> )	WB	0,966	± 0,01	0,982	± 0,01	0,273	1,028	± 0,01	1,033	± 0,01	0,813	0,010	± 0,01	0,561	
	SUB	<b>0,827</b>	± <b>0,01</b>	<b>0,862</b>	± <b>0,01</b>	<b>0,008**</b>	0,891	± 0,01	0,907	± 0,01	0,329	0,026	± 0,01	0,078	
	LLIMBS	<b>2,019</b>	± <b>0,02</b>	<b>2,151</b>	± <b>0,02</b>	<b>0,001**</b>	2,229	± 0,02	2,295	± 0,03	0,175	<b>0,098</b>	± <b>0,04</b>	<b>0,021*</b>	
	NECK	<b>0,803</b>	± <b>0,01</b>	<b>0,875</b>	± <b>0,01</b>	<b>0,001**</b>	<b>0,853</b>	± <b>0,01</b>	<b>0,911</b>	± <b>0,01</b>	<b>0,008*</b>	<b>0,065</b>	± <b>0,02</b>	<b>0,003**</b>	
	HTOT	0,893	± 0,01	0,941	± 0,01	0,050	0,942	± 0,01	0,981	± 0,02	0,138	0,045	± 0,02	0,073	
	TOT	0,730	± 0,01	0,747	± 0,01	0,412	0,782	± 0,01	0,797	± 0,01	0,536	0,020	± 0,02	0,346	

DE=Desviación estándar; WB= Cuerpo total; SUB= Subtotal (Cuerpo total – cabeza); LLIMBS= Extremidades inferiores; NECK= Cuello del fémur; HTOT= Cadera total; TOT= Columna lumbar; BMC= Contenido mineral óseo; BMD= Densidad mineral ósea; I= Sub-base; J= Sin Sub-base

En la tabla 5 se muestran las variables de masa ósea ajustadas, para las zonas clínicas analizadas a cada uno de los dos grupos de jugadores divididos por equipo/superficie. Los valores de masa ósea fueron ajustados por el estado de maduración sexual, la talla, el subtotal de la masa magra y el subtotal del área de masa ósea de los participantes. En la valoración inicial (A) se observan diferencias significativas en el BMC y la BMD del subtotal del cuerpo, cuello del fémur y extremidades inferiores ( $p<0,05$ ). En la valoración al final de la temporada, también hay diferencias significativas en el BMC y BMD del cuello del fémur ( $p<0,05$ ). En el análisis de medidas repetidas, se observa diferencias significativas, en el BMC del subtotal del cuerpo y el cuello del fémur, y la BMD del cuello del fémur y las extremidades inferiores ( $p>0,05$ ). No se encontraron diferencias significativas en el resto de variables ( $p>0,05$ ). El equipo que jugaba en superficie con sub-base elástica mostró valores mayores, en las variables CMO cuello del fémur y subtotal del cuerpo, así como DMO del cuello del fémur y extremidades inferiores, que mostraron diferencias significativas.

## 4. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue conocer si existían diferencias en las características biomecánicas de los campos de fútbol de césped artificial de tercera generación, y si existen diferencias en el CMO y la DMO del cuello del fémur, la cadera total, las extremidades inferiores, la columna lumbar (L1-L4) y el cuerpo completo en futbolistas adolescentes en función de la superficie de juego a lo largo de una temporada completa.

Los resultados de este estudio muestran diferencias significativas en todas las características biomecánicas de las superficies de juego de césped artificial de tercera generación que fueron analizadas. Este hallazgo concuerda con un estudio reciente, en el cuál se observan diferencias en las características biomecánicas de cuatro tipos de superficies de césped artificial de tercera generación(39). Debido a la diversidad de materiales y técnicas que pueden ser usados para la construcción de este tipo de pavimentos, parece ser que no podemos hablar de características biomecánicas y función deportiva común al césped artificial(5, 49). Las investigaciones que encontramos en la literatura se centraban en comparar el césped artificial con el césped natural(23, 42, 54), o incluso superficies tradicionales como la tierra(14), pero parece ser que debemos enfocar hacia la investigación dentro de las distintas superficies de juego con superficies de césped artificial. El conocimiento de las propiedades biomecánicas óptimas de las superficies de juego, sería fundamental para desarrollar la tecnología y los parámetros de construcción de campos de césped artificial, para alcanzar un estímulo osteogénico adecuado y

de esta manera mejorar la salud ósea de la población practicante de este tipo de deporte.

En la presente investigación, la superficie de juego con mayor restitución de energía la cual ha sido construida con sub-base elástica, muestra mejoras significativas en las variables óseas DMO del cuello del fémur y extremidades inferiores, y CMO del cuello del fémur y subtotal del cuerpo de los futbolistas que entran y juegan en este campo, respecto a los que lo hacen en una superficie con menor restitución energética.

La práctica de deportes en los que hay acciones de alta intensidad, tales como el fútbol, favorecen a que se adquiera una mayor masa ósea que en otras actividades como la natación en las que no hay impacto(56). Además los chicos y chicas que practican deporte, tienen una mayor adquisición de masa ósea que los que llevan una vida sedentaria(11, 16, 56, 58). Por otro lado la etapa de la pre adolescencia es uno de los momentos más importantes, por la sensibilidad propensa a recibir estímulos osteogénicos para adquirir ganancias óseas óptimas, factor muy relevante para la salud del esqueleto adulto(27, 28, 45). La literatura científica, ha descrito que los adultos que han practicado fútbol desde edades tempranas y a lo largo de su vida, muestran unos valores más saludables de masa ósea, especialmente en cadera, columna lumbar y extremidades inferiores, que adultos de la misma edad que son sedentarios, además esta adquisición favorable de masa ósea perdura en el tiempo incluso tras grandes períodos de abandono de la modalidad deportiva(17, 21, 47, 52). Por estos motivos, nos parece vital, aprovechar las edades sensibles para la adquisición de una correcta masa ósea que permita en un futuro prevenir patologías óseas como la osteoporosis que afecta especialmente, en la edad adulta y la vejez(29).

Un estudio reciente, el cual se ha interesado por la influencia de la superficie de juego en la masa y densidad ósea de futbolistas preadolescentes, ha demostrado valores más altos en CMO y DMO en piernas, cadera y todo el cuerpo que chicos sedentarios de la misma edad, peso y talla que los participantes del estudio, independientemente de la superficie en la que jugaban los futbolistas, catalogada como superficie blanda o superficie dura(11). El estudio no muestra, los valores de corte que utilizaron para categorizar las superficies blanda o dura en función de las pruebas biomecánicas, absorción de impacto y restitución energética. Los resultados de este estudio, no mostraron diferencias entre los grupos de jugadores que jugaban en superficie blanda y dura en el CMO y la DMO del cuello del fémur, cadera y cuerpo total. Por el contrario en nuestro estudio, se observan diferencias entre ambos tipos de superficie de juego, con y sin sub-base elástica, en el CMO del cuello del fémur y subtotal del cuerpo y la DMO del cuello del fémur y las extremidades inferiores a lo largo de una temporada completa. El CMO y la DMO mostró valores más altos, en el equipo que entrenaba y jugaba en la superficie de juego con sub-

base elástica, la cual mostraba valores más altos tanto de absorción de impacto(62%), como restitución energética(48%). Es decir, se puede lograr mediante la construcción del césped artificial, superficies que amortigüen para que no sean “duras”, pero que restituyan la suficiente energía como para no perder el estímulo osteogénico, evitando superficies “blandas”. El equilibrio entre los valores en las pruebas amortiguación de impacto y restitución energética, parece ser el elemento a trabajar para conseguir un pavimento, con una buena función deportiva, que no sea lesivo a nivel musculo-esquelético y que además provoque estímulo suficiente para el desarrollo del hueso en sus usuarios.

Los resultados brutos obtenidos en las variables óseas analizadas en el presente estudio, muestran un aumento en ambos equipos de todas las variables analizadas tanto para el CMO como la DMO, a lo largo de la temporada. Hay diferencias significativas tanto al principio como al final de la temporada, en el CMO y la DMO del cuello del fémur, y la cadera total, y además el CMO del cuerpo total. El equipo que juega y entrena en un campo con mayor restitución energética y por tanto con mayor estímulo osteogénico, es el que tiene los valores más altos. Los resultados obtenidos en los que se ha ajustado con las covariables, estado de maduración sexual, talla, masa magra y área ósea, se observan diferencias significativas al principio de temporada en el CMO y la DMO del cuello del fémur, las extremidades inferiores y el subtotal del cuerpo. Al final de temporada existen diferencias significativas en el CMO y la DMO del cuello del fémur. En el análisis de medidas repetidas, observamos que el equipo que ha jugado y entrenado en la superficie con sub-base elástica, tiene significativamente mayor CMO en el cuello del fémur y el subtotal del cuerpo, y mayor DMO en el cuello del fémur y las extremidades inferiores.

Estos resultados tienen que ser interpretados con cautela, pero parecen determinar que la superficie con sub-base elástica la cual muestra valores más altos de restitución energética (fuerza que devuelve el pavimento al jugador), es más propensa al desarrollo óseo de los jugadores de fútbol preadolescentes. Hay que tener en cuenta, que además este tipo de superficie ha mostrado valores más altos de absorción de impacto, que la superficie sin sub-base elástica. Es decir, este campo es más cómodo y tiene menor incidencia en el impacto articular de sus usuarios, pero a su vez, la suficiente restitución energética hace que no sea pesado (sensación de correr en la arena) y por ello no provoque fatiga musculo-esquelética. Parece ser que el control sobre los materiales utilizados para la construcción de los campos de césped artificial, el cual repercute en las características biomecánicas de los mismos, es un elemento determinante a la hora de conseguir que una superficie reúna los elementos de función deportiva pertinentes, confort a los usuarios, y además favorecer su salud ósea.

Parece clave para conseguir lo anteriormente descrito, la relación entre la absorción de impacto de una superficie y la restitución energética de la misma. Es necesario, el conocimiento de unos valores de referencia tanto para la absorción de impacto como para la restitución energética, los cuales nos harían poder conseguir el efecto osteogénico necesario para el desarrollo del esqueleto en los jugadores, sin renunciar a la comodidad y función deportiva de los pavimentos. A pesar de la importancia de la restitución energética en las superficies de césped artificial, todavía ninguna normativa muestra valores de referencia, por ello en el próximo Handbook de FIFA y en las demás normativas, se debería tener en cuenta.

A pesar de la mala reputación que tenían los primeros campos de césped artificial, actualmente estas nuevas superficies están siendo aceptadas de mejor manera por jugadores amateur, profesionales, árbitros y entrenadores(2, 9, 18, 24, 32, 53). Por otro lado, la función deportiva, carga fisiológica y física, es similar a superficies tradicionales como el césped natural o la tierra, y no varía entre modelos de césped artificial de tercera generación(2, 7, 14, 23, 32, 38, 43). La percepción de seguridad de los campos de césped artificial, cada vez es mayor respecto a las lesiones(2, 6, 13), y recientemente una revisión sistemática ha mostrado índices de lesión similares, a excepción del tobillo, en césped natural y césped artificial de tercera generación(51). Estos factores promueven el desarrollo e instalación de esta superficie de juego, como alternativa a superficies tradicionales, por ello es de interés conocer de qué manera pueden afectar en la composición corporal de los usuarios que las emplean.

Futuros estudios, longitudinales, con seguimiento de más de una temporada y más de un equipo por tipo de superficie de juego, deben ser llevados a cabo para esclarecer de qué manera afecta la superficie en la masa ósea de jóvenes preadolescentes y adultos.

## 5. LIMITACIONES Y FORTALEZAS

Poder contar con solo dos equipos para realizar el estudio, hace que la n no haya sido muy alta (46 jugadores), pero a pesar de ello, los participantes se han involucrado lo suficiente como para solo perder 3 sujetos en la valoración final. Sería necesario realizar este estudio con más de un equipo por superficie de juego de césped artificial, y además separar por más tipos de superficies debido a las diferencias en la construcción de terrenos de juego de césped artificial de tercera generación. Los participantes han sido varones, por lo que también sería necesario conocer si estos resultados se repiten en equipos femeninos.

El uso de las técnicas y tecnología propuesta por la FIFA para la valoración de superficies de césped artificial, así como contar con técnicos con experiencia, hace que se haya podido

caracterizar biomecánicamente los distintos campos de fútbol de la mejor manera posible.

La mitad de los jugadores de cada uno de los equipos, llevaba botas con tacos diseñados para césped artificial y la otra mitad llevaba botas de fútbol con multi-taco. Esto omite en parte el sesgo que puede provocar que cada jugador utilice unas botas distintas al resto, y en futuras investigaciones se deberá tener en cuenta a la hora de analizar los resultados, pero en este estudio no se han realizado los subgrupos dado que los grupos quedaban reducidos y perderíamos potencia estadística.

La valoración de la composición corporal, especialmente de las variables óseas, se ha llevado a cabo con el método referencia, Absorciometría dual de rayos X, el cual proporciona fiabilidad a la investigación.

Por último, a la hora de valorar CMO y DMO, hubiera sido interesante analizar la ingesta de calcio de los participantes, dado que constituye un elemento importante en el desarrollo óseo de los adolescentes. Este factor se ha evaluado, pero en este trabajo no se ha tenido en cuenta.

## 6. CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas de las propiedades biomecánicas de las superficies de juego de césped artificial de tercera generación construidas con o sin sub-base elástica. El equipo que durante un año entrenó y jugó en la superficie de juego con sub-base elástica, mostró mayores valores con diferencia significativa en BMC del cuello del fémur y subtotal del cuerpo, así como en la BMD del cuello del fémur y las extremidades inferiores. Este equipo practicaba fútbol en la superficie con mayor restitución energética y por tanto, con mayor estímulo osteogénico. Es necesario realizar más estudios para determinar que valores de las pruebas biomecánicas pueden favorecer a un óptimo estímulo osteogénico, así como incluir valores modelo de la prueba restitución energética en las normativas empleadas para homologar terrenos de juego.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a mi tutor José Antonio Casajús por guiarme en mi trabajo fin de máster y hacerme participar en el grupo de investigación, a todos los compañeros del grupo GENUD (Growth, Exercise, Nutrition and Development) de la Universidad de Zaragoza, y especialmente a Ángel Matute por su paciencia y disponibilidad a la hora de aconsejarme. Agradecer a Jesús Catón, así como a Luis Castroviejo de MONDO TUFTING, su ayuda a la hora de valorar las superficies de juego y resolver cualquier duda sobre la tecnología del césped artificial.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alcantara E, Gamez, J ; Rosa, D ; Sanchis, M. Analysis of the influence of rubber infill morphology on the mechanical performance of artificialturf surfaces for soccer. *J Sports Eng Technol* 2009.
2. Andersson H, Ekblom B, Krstrup P. Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *J Sports Sci.* 2008 Jan 15;26(2):113-22.
3. Ausili E, Rigante D, Salvaggio E, Focarelli B, Rendeli C, Ansini 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.
4. Babatunde OO, Forsyth JJ. Quantitative Ultrasound and bone's response to exercise: a meta analysis. *Bone.* 2013 Mar;53(1):311-8.
5. 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.
6. Bjorneboe J, Bahr R, Andersen TE. Risk of injury on third-generation artificial turf in Norwegian professional football. *Br J Sports Med.* 2010 Sep;44(11):794-8.
7. Brito J, Krstrup P, Rebelo A. The influence of the playing surface on the exercise intensity of small-sided recreational soccer games. *Hum Mov Sci.* 2012 Aug;31(4):946-56.

8. Burillo P. Los campos de fútbol de césped artificial en Castilla- La Mancha. Hacia un modelo de seguridad, funcionalidad deportiva y satisfacción de los usuarios. Toledo: Facultad Ciencias del Deporte; 2009.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Cauley JA. Public health impact of osteoporosis. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2013 Oct;68(10):1243-51.
13. Constantine CN, Poulos JGJ, William H Gage, Joseph Baker, Sebastian Buitrago and Alison K Macpherson. The perceptions of professional soccer players on the risk of injury from competition and training on natural grass and 3rd generation artificial turf. *BMC Sports Science, Medicine, and Rehabilitation*. 2014.
14. 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):106-14.
15. Duke PM, Litt IF, Gross RT. Adolescents' self-assessment of sexual maturation. *Pediatrics*. 1980 Dec;66(6):918-20.
16. El Hage R. Geometric indices of hip bone strength in young female football players. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2013 Jun;13(2):206-12.

17. El Hage R, Chatah R, Moussa E, Theunynck D. Adult female football players have higher lumbar spine and hip bone mineral density than age- and body weight-matched controls. *J Sports Med Phys Fitness*. 2014 Apr;54(2):174-8.
18. FIFA. Elite players' perceptions of football playing surfaces. 2012.
19. FIFA. FIFA Quality Concept for Football Turf. Handbook of Requirements. Zurich: Federation Internationale de Football Association ed; 2012.
20. Fiúza-Luces C, Garatachea N, Berger NA, Lucia A. Exercise is the real polypill. *Physiology (Bethesda)*. 2013 Sep;28(5):330-58.
21. 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.
22. Gallardo Guerrero AM. El césped artificial, hacia la excelencia en la gestión de los campos de fútbol. 2009.
23. Hughes MG, Birdsey L, Meyers R, Newcombe D, Oliver JL, Smith PM, et al. Effects of playing surface on physiological responses and performance variables in a controlled football simulation. *J Sports Sci*. 2013;31(8):878-86.
24. Jonathan Roberts. Paul Osei Owusu AH, Alun Owen, Aimée Smith. Elite football players' perceptions of football turf and natural grass: surface properties. *Procedia Engineering*. 2014.
25. Karlsson M, Nordqvist, A, Karlsson, C. Physical activity increases bone mass during growth. 2008.
26. Leppik A, Jurimae T, Jurimae J. Reproducibility of anthropometric measurements in children: a longitudinal study. *Anthropol Anz*. 2004 Mar;62(1):79-91.

27. 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.
28. 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.
29. Moayyeri 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.
30. Moore SA, Moore M, Klentrou P, Sullivan P, Falk B. Maturity status in male child and adolescent athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 2010 Dec;50(4):486-93.
31. Mughal MZ, Khadilkar AV. The accrual of bone mass during childhood and puberty. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* 2011 Feb;18(1):28-32.
32. Nedelec M, McCall A, Carling C, Le Gall F, Berthoin S, Dupont G. Physical performance and subjective ratings after a soccer-specific exercise simulation: comparison of natural grass versus artificial turf. *J Sports Sci.* 2013;31(5):529-36.
33. Obrant KJ, Bengner U, Johnell O, Nilsson BE, Sernbo I. Increasing age-adjusted risk of fragility fractures: a sign of increasing osteoporosis in successive generations? *Calcif Tissue Int.* 1989 Mar;44(3):157-67.
34. RFEF. Licencias. Fútbol. Fútbol Sala. Clubes y Equipos. 2014.
35. Rizzoli R, Bonjour JP. Determinants of peak bone mass and mechanisms of bone loss. *Osteoporos Int.* 1999;9 Suppl 2:S17-23.
36. Rosa D. Aspectos biomecánicos de la hierba artificial: Instituto de biomecánica de Valencia; 2008.

37. Sanchez-Sanchez J. Effect of the structural components of support on the mechanical behavior and the sport functionality of football fields of artificial turf. Toledo: Castilla-La Mancha; 2014.
38. Sanchez-Sanchez J, Garcia-Unanue J, Jimenez-Reyes P, Gallardo A, Burillo P, Felipe JL, et al. Influence of the mechanical properties of third-generation artificial turf systems on soccer players' physiological and physical performance and their perceptions. PLoS One. 2014;9(10):e111368.
39. Sánchez Sánchez J. Efectos de los componentes estructurales de soporte sobre el comportamiento mecánico y rendimiento deportivo en los campos de fútbol de césped artificial. Toledo: Facultad Ciencias del Deporte; 2015.
40. Sanchis M. Introducción histórica y componentes constructivos de la hierba artificial: Instituto de biomecánica de Valencia; 2008.
41. Sanchis M. Evaluación de la función deportiva de un pavimento de hierba artificial: Instituto de biomecánica de Valencia; 2008.
42. Sassi A, Stefanescu A, Menaspa P, Bosio A, Riggio M, Rampinini E. The cost of running on natural grass and artificial turf surfaces. J Strength Cond Res. 2011 Mar;25(3):606-11.
43. Stone KJ, Hughes MG, Stemberge MR, Meyers RW, Newcombe DJ, Oliver JL. The influence of playing surface on physiological and performance responses during and after soccer simulation. Eur J Sport Sci. Dec 9:1-8.
44. Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. Arch Dis Child. 1976 Mar;51(3):170-9.
45. 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.

46. Tveit M, Rosengren BE, Nilsson JA, Karlsson MK. Exercise in youth: High bone mass, large bone size, and low fracture risk in old age. *Scand J Med Sci Sports*. 2014 Aug;25(4):453-61.
47. 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.
48. 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.
49. Villaroya JC. Césped Artificial Vs. Césped Natural, aspectos de seguridad y rendimiento deportivo. Modernsoccer; 2010.
50. 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.
51. Williams S, Hume PA, Kara S. A review of football injuries on third and fourth generation artificial turfs compared with natural turf. *Sports Med*. 2011 Nov 1;41(11):903-23.
52. 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.
53. Zanetti EM. Amateur football game on artificial turf: players' perceptions. *Appl Ergon*. 2009 May;40(3):485-90.
54. 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.

55. 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.
56. 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.
57. Zouch M, Zribi A, Alexandre C, Chaari H, Frere D, Tabka Z, et al. Soccer increases bone mass in prepubescent boys during growth: a 3-yr longitudinal study. *J Clin Densitom.* 2015 Apr-Jun;18(2):179-86.
58. Zouch M, Chaari H, Zribi A, Bouajina E, Vico L, Alexandre C, et al. Volleyball and Basketball Enhanced Bone Mass in Prepubescent Boys. *J Clin Densitom.* 2015 Jul 31.