

# **INFLUENCIA DE LA GENÉTICA EN EL RENDIMIENTO DE LOS FUTBOLISTAS**

**CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL  
DEPORTE**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD  
FÍSICA Y EL DEPORTE**



Realizado por: Mateo Monroy Velásquez

Grupo TFG: M41

Año Académico: 2021-2022

Tutor/a: Carlos García Martí

Área: Revisión Bibliográfica

## **Resumen**

Se llevó a cabo una revisión sistemática de los estudios realizados sobre la influencia de la genética en el rendimiento deportivo de los futbolistas. Se identifican y analizan los diferentes elementos presentes en los artículos, los temas más relevantes y los resultados de las investigaciones. El objetivo principal del siguiente trabajo es explorar la relación entre genética y rendimiento deportivo de los jugadores de fútbol. Para llevar a cabo la revisión se han consultado diferentes bases como son Academic Search Ultimate, MEDLINE Complete y SPORTDiscus. Se seleccionaron dieciocho artículos, que fueron los que más se adaptaron al tema que se quería tratar en este trabajo, se realizó la separación de los aspectos clave encontrados en cada uno de los artículos. Tras la realización de la revisión bibliográfica se pudo concluir que no está demostrada aún la relación entre genética y rendimiento deportivo en los jugadores de fútbol.

## **Abstract**

A systematic review carried out of the studies about the influence of genetics on the sports performance of footballers. The different elements present in the articles, the most relevant topics and the results of the research are identified and analyzed. The main objective of the following work is to evaluate whether there is an influence of genetics on the sports performance of football players. To carry out the review different bases have been consulted such as Academic Search Ultimate, MEDLINE Complete and SPORTDiscus. Eighteen articles were selected, which were the most adapted to the topic to be addressed in this work, the separation of the key aspects found in each of the articles was carried out. After carrying out the literature review, it can be concluded that the relationship between genetics and sports performance in soccer players has not yet been demonstrated.

## Índice

1	Introducción.....	6
2	Objetivos .....	10
3	Metodología .....	10
3.1	Diseño .....	10
3.2	Estrategia de búsqueda .....	10
3.3	Criterios de selección .....	10
3.4	Diagrama de flujo .....	11
4	Resultados .....	12
4.1	Cuadro resumen artículos empleados.....	12
4.2	Resumen Artículos empleados .....	18
5	Discusión.....	28
6	Futuras líneas de investigación.....	35
7	Conclusiones.....	36
8	Referencias bibliográficas .....	37

## Índice de tablas

1	Tabla 1.....	7
2	Tabla 2.....	12
3	Tabla 3.....	28
4	Tabla 4.....	28
5	Tabla 5.....	29
6	Tabla 6.....	30

## Índice de figuras

1	Figura 1.....	11
2	Figura 2.....	18

## 1 Introducción

En los últimos años hay un creciente interés en el ámbito científico en determinar la relación que existe entre la genética y el rendimiento deportivo (Jeremic et al., 2019; Koku et al., 2019; la Montagna et al., 2020). El fútbol al ser uno de los deportes más populares y practicados alrededor del mundo, no se ha quedado por fuera de este debate. Se han realizado diferentes estudios en los que se intenta explicar qué genes y qué variaciones (polimorfismos) de estos genes influyen en el rendimiento deportivo de un futbolista (Dionísio et al., 2017; Egorova et al., 2014; Jeremic et al., 2019; Mohd Fazli et al., 2022; Paoli et al., 2014; Petr et al., 2022). Así mismo, en estos estudios se hace una investigación de qué factores influenciados por la genética, son determinantes en el fútbol.

Es importante saber que el fútbol es un deporte que demanda, constantemente, acciones intermitentes de gran intensidad como sprints, saltos, golpes, disputas y cambios de dirección, pero así mismo el juego demanda que un futbolista tenga una gran capacidad aeróbica ya que debe recorrer grandes distancias durante la competición (Ciężczyk et al., 2016; Clos et al., 2021; Egorova et al., 2014; Gineviciene et al., 2014; Meckel et al., 2020; Pimenta et al., 2012; Ulucan et al., 2015; Wei, 2021).

Para poder seguir esta revisión sin inconvenientes, es necesario conocer términos que aparecerán de manera recurrente a lo largo del texto, y que sin su comprensión, será de gran dificultad el seguimiento del artículo. Por lo tanto, a continuación se realizará una contextualización breve de términos y conceptos básicos sobre genética, que son fundamentales para la comprensión de la revisión. Gen, alelo, polimorfismo y genotipo son los conceptos que más se repiten a lo largo del texto y que pueden resultar de difícil comprensión para una persona que no está relacionada con el mundo de la genética. En primer lugar, un gen es la unidad mínima de herencia biológica, es decir, es la unidad más pequeña que pasa información de los padres a los individuos. Los genes se encargan de codificar una o más proteínas para dotar a la personas de unas características determinadas (Solari, 2011). Cada gen tiene una función específica, en los artículos analizados en esta revisión bibliográfica se estudiaron diferentes genes que, probablemente, tienen influencia en el rendimiento físico deportivo. Los genes que carga un individuo se pueden expresar de distintas maneras, y a esas distintas formas de expresión se les conoce como alelos (Solari, 2011). En los estudios empleados en

la revisión, nos encontramos con distintos sujetos, que van a tener ciertas características dependiendo de los alélelos que compongan cada uno de sus genes. Otro termino importante para el correcto seguimiento del texto es el polimorfismo. Se entiende como polimorfismo a una variante genética en la secuencia de ADN entre individuos de una misma especie, es decir, es una mutación o variante la cual otorga, a los individuos que la poseen, ciertas características que antes, esa misma especie no tenía (Solari, 2011). Para finalizar, el genotipo es un conjunto de la información genética de una persona, es decir, como está compuesto cada uno de sus genes, su secuencia de ADN y como se expresa esa información en el individuo.

Para garantizar la comprensión de los conceptos, se usara el gen ACTN3 como ejemplo, y se explicara donde se ven reflejados cada uno de los términos anteriormente mencionados. El gen ACTN3, que es uno de los más mencionados en los diferentes estudios que relacionan la genética con el rendimiento deportivo presenta tres genotipos distintos (RR, XX y RX), esto depende de los alelos que formen el gen de cada individuo. En los estudios realizados se ha concluido que los sujetos que presentan un genotipo XX, el cual es derivado de una mutación genética (polimorfismo), están orientados a realizar deportes de resistencia, mientras que los sujetos con un genotipo RR, el natural, están más relacionados con los deportes de velocidad (Jeremic et al., 2019; Koku et al., 2019).

En los artículos empleados en esta revisión bibliográfica se lograron identificar un total de quince genes distintos. ACTN3, PPAR $\alpha$ , PPARGC1A, AGT, AMPD1, NOS3, COL5A1, MCT1, VEGF, HFE, ADRB2, IL6, MTHFR, GDF5, IGF2, los cuales se pueden calificar en tres grandes grupos dependiendo de su función (Tabla 1). El primer grupo está conformado por los genes que tienen como función principal la estimulación del musculo esquelético, el segundo grupo lo componen los genes que su función puede tener incidencia en el rendimiento cardiovascular de los deportistas, y por ultimo los genes encargados del crecimiento y la estabilidad articular del sujeto.

**Tabla 1**

*Función de los genes empleados en la revisión bibliográfica*

Musculo esquelético	Cardiovascular	Crecimiento y estabilidad de las articulaciones
---------------------	----------------	---

ACTN3	AGT	COL5A1
PPAR $\alpha$	NOS3,	VEGF
PPARGC1A	MCT1	IL6
AMPD1	HFE	MTHFR
ADRB2		GDF5
		IGF2

Esta revisión adquiere importancia debido a que en los últimos años muchos clubes de fútbol alrededor del mundo, han invertido importantes sumas de dinero en los procesos de scouting y captación de talento (Clos et al., 2021; Petr et al., 2022). Principalmente porque la captación de talento joven es la manera de competir de muchos equipos que no tienen el poder económico de otros. Siendo conscientes que la genética puede llegar a influir en el rendimiento deportivo, se hace necesario conocer qué genes y qué variaciones de estos mismos genes están relacionados con el rendimiento deportivo de los futbolistas. Conociendo estas variables, el proceso de selección de talento para un equipo, se torna mucho más sencillo porque puede saber de antemano qué cualidades físicas tiene o puede llegar a tener el jugador seleccionado. No se puede decir que solo conociendo el perfil genético de un jugador se sabe qué futbolista va a llegar a ser en un futuro, porque existen muchos factores que determinan el talento de un futbolista, pero si se puede conocer cuál es el “techo” que puede tener ese jugador a nivel de fuerza, velocidad, potencia y resistencia, además de saber qué propenso a lesionarse es un futbolista (Wei, 2021).

Otra de las razones de la importancia de esta revisión bibliográfica es que uno de los factores que más limita el rendimiento deportivo de un futbolista son las lesiones (Clos et al., 2019; la Montagna et al., 2020; McCabe & Collins, 2018). Son incontables las personas que no han llegado a jugar en el fútbol profesional debido a una lesión importante que no los ha dejado continuar con su carrera deportiva. Pero en los clubes más importantes del mundo también se dan lesiones que merman el rendimiento deportivo de sus futbolistas, incluso haciendo que lo clubes pierdan grandes cantidades de dinero por no poder contar con jugadores importantes (Clos et al., 2019). Para prevenir este tipo de lesiones es importante

identificar los factores de riesgo. Diferentes estudios han demostrado que el perfil genético de los futbolistas está asociado con la cantidad de lesiones que presenta un jugador de fútbol y con la gravedad de la misma (la Montagna et al., 2020; McCabe & Collins, 2018). Si se logran identificar los genes relacionados con las principales lesiones presentes en los jugadores de fútbol se pueden diseñar planes de entrenamiento más específicos que ayuden a reducir el número de lesiones de un jugador y la gravedad de la lesión (Clos et al., 2019; la Montagna et al., 2020). Existe un gran debate sobre la genética y el ambiente como factor determinante del rendimiento y/o el talento de un futbolista. Hay diferentes estudios que aseguran que el 66% de la calidad de un atleta está definido por la genética (Egorova et al., 2014). Aún no se ha establecido un porcentaje realista, de la influencia de la genética en el fútbol, debido a que, es un tema que no se ha llegado a estudiar a fondo aún. Sin embargo, se cree que el porcentaje en el fútbol es mucho más bajo, ya que, en el fútbol no es tan determinante la fuerza, la potencia, la resistencia o la composición corporal como si lo es en otros deportes.

En el siguiente trabajo se llevara a cabo una revisión bibliográfica de los estudios publicados en los últimos diez años (2012-2022), que muestren la relación del rendimiento deportivo de los futbolistas y el perfil genético de los mismos. Tiene como objetivo principal evaluar si existe una influencia de la genética en el rendimiento deportivo de los jugadores de fútbol.

## 2 Objetivos

El objetivo principal de este artículo es explorar por medio de una revisión bibliográfica de estudios científicos, la relación entre genética y rendimiento deportivo de los jugadores de fútbol.

Los objetivos secundarios planteados son:

- Conocer la influencia de la genética en la potencia de los jugadores de fútbol.
- Conocer la influencia de la genética en la resistencia de los jugadores de fútbol.
- Conocer la influencia de la genética en las lesiones de los jugadores de fútbol.

## 3 Metodología

### 3.1 *Diseño*

Se realizó una revisión sistemática de las bases de datos científicas así como revistas, libros y artículos sobre la influencia de la genética en el rendimiento deportivo de los jugadores de fútbol.

### 3.2 *Estrategia de búsqueda*

Lo primero que se hizo fue llevar a cabo una búsqueda en Academic Search Ultimate de artículos científicos que estuvieran relacionado con el tema que se iba a investigar. Para la búsqueda de estudios originales se consultó las bases de datos Academic Search Ultimate, MEDLINE Complete y SPORTDiscus, mediante las siguientes ecuaciones de búsqueda: (Football OR Soccer) AND (genetics OR genes OR genetics OR epigenic OR genomic OR genotype OR polymorphism OR genetic marker OR powergene) AND (performance). Se limitó por año de publicación 2012 – 2022, así como que la lengua de los estudios fuera inglés.

### 3.3 *Criterios de selección*

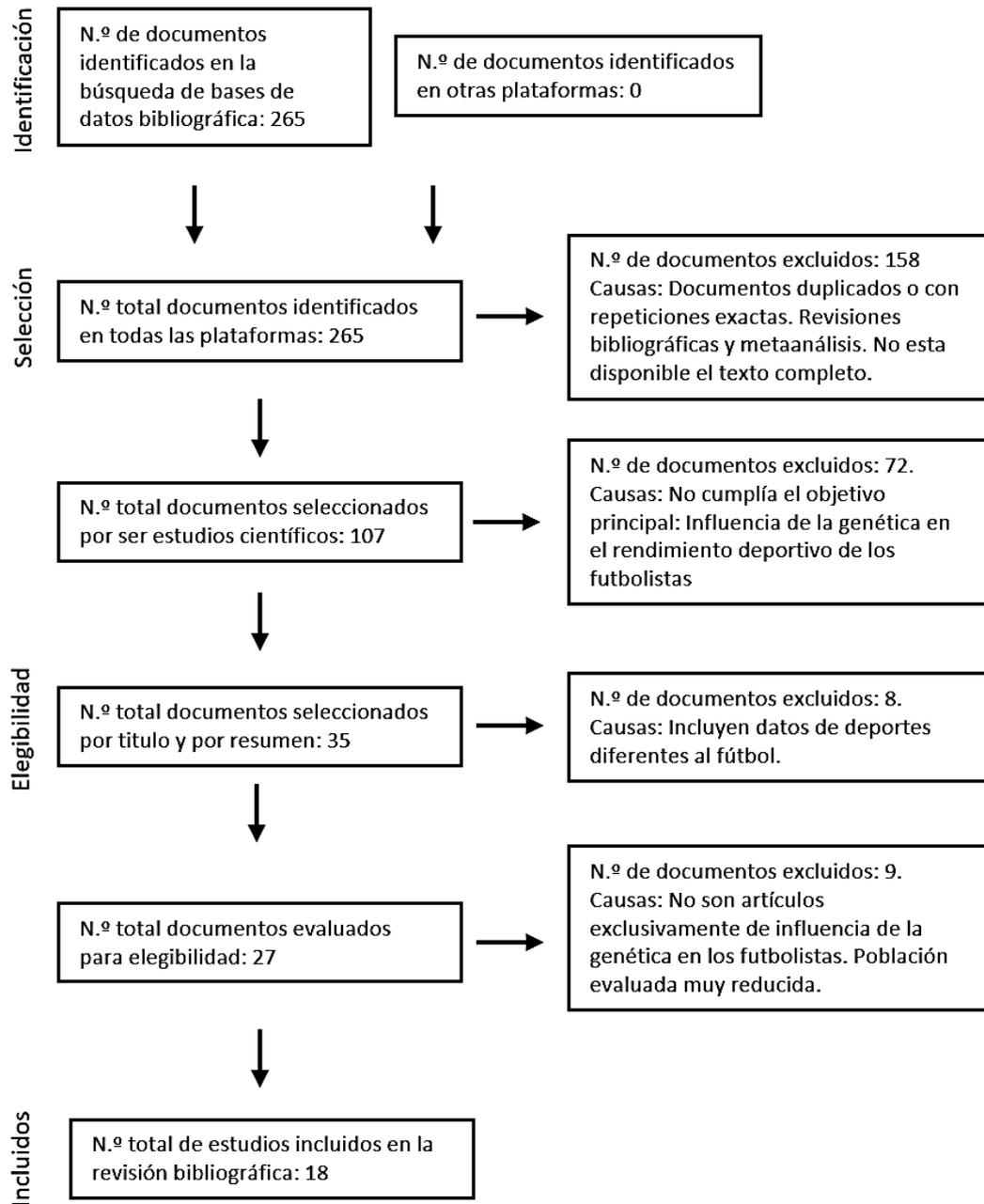
En la búsqueda de literatura se incluyó todo tipo de estudios científicos, incluyendo estudios experimentales y no experimentales. Se excluyeron de la búsqueda todas las revisiones bibliográficas y los metaanálisis, así como todos los estudios que incluyeran datos de otros deportes que no fueran fútbol. Solo fueron seleccionados los estudios científicos que estuvieran relacionados con la influencia de la genética en el rendimiento deportivo de los futbolistas (Figura 1). Con los dieciocho artículos

seleccionados, se desarrolló el análisis de los resultados que se presenta en el siguiente artículo.

### 3.4 Diagrama de flujo

**Figura 1**

*Diagrama de flujo*



## 4 Resultados

### 4.1 Cuadro resumen artículos empleados

**Tabla 2**

*Cuadro Resumen de los artículos empleados*

<b>Autores y año</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Muestra</b>	<b>Gen</b>	<b>Hallazgos</b>
Cięszczyk et al. (2016).	Determinar el genotipo y la distribución de la frecuencia del alelo del polimorfismo del gen ACE I/D en los jugadores de fútbol polacos masculinos.	106 jugadores profesionales de fútbol masculino de los mejores equipos de la liga polaca: delanteros (n=28), defensores (n=38), centrocampistas (n=32) y porteros (n=8). 115 estudiantes universitarios sedentarios como grupo control.	ACE	La distribución de genotipos y frecuencias alélicas entre todos los jugadores de fútbol no difirieron significativamente en comparación con los individuos de control sedentarios. Tampoco se encontraron diferencias significativas al comprar las posiciones de los jugadores.
Clos et al. (2019).	Evaluar la incidencia del polimorfismo de nucleótido único (SNP) de ACTN3 como biomarcador potencial de la incidencia de lesiones, gravedad de las lesiones y tiempo de recuperación.	43 futbolistas profesionales masculinos.	ACTN3	El genotipo XX de jugadores de fútbol del estudio tuvo la mayor tasa de lesiones, seguido por el RR y RX.
Clos et al. (2020).	Evaluar si el genotipo y la distribución de alelos del gen ACTN3 difieren entre las posiciones en el campo en	43 jugadores de fútbol profesional masculino.	ACTN3	El genotipo RX del gen ACTN3 fue el que más común en el grupo de jugadores evaluados. El alelo 577R fue el que estuvo más

	los jugadores de fútbol profesionales de élite.			presente. Alelos del portero, defensa central y medios (X) difería de la de medios exteriores, delanteros, extremos y laterales (R).
Coelho et al. (2016)	Analizar las frecuencias alélicas y genotípicas del gen ACE-I/D en futbolistas brasileños de diferentes grupos de edad.	353 futbolistas brasileños de diferentes grupos de edad. 43 sub-14, 68 sub-15, 44 sub-17 y 115 sub-20, 83 profesional (PRO). 100 sedentarios brasileños como grupo control.	ACE	No se encontraron diferencias entre los atletas y los sujetos de control, lo que sugiere que la frecuencia de ACE no es el factor determinante para el éxito de los jugadores brasileños.
Dionísio et al. (2017).	Determinar si los polimorfismos ACTN3, ACE, AGT y AMPD1 pueden afectar a las pruebas de rendimiento como salto, sprint y resistencia en jugadores de fútbol.	220 jugadores brasileños de fútbol profesional masculino (14-20 años). Los jugadores no han tenido lesiones.	ACTN3, ACE, AGT, AMPD1	Los jugadores con genotipos RR/RX (ACTN3) y DD (ACE) presentaron un mejor rendimiento durante el salto y la prueba de sprint. Los futbolistas con genotipo ID/II presentaron mejores resultados durante la prueba de resistencia.
Egorova et al. (2014)	Investigar la relación de polimorfismos comunes con el status de los jugadores de fútbol.	246 jugadores de fútbol masculino rusos (51 de elite, 81 sub elite, y 114 no elite). 872 sedentarios, los cuales fueron usados como grupo control.	ACE, ACTN3, PPARA y UCP2	Todos los futbolistas tiene un mejor puntaje del genotipo comparado con el grupo de control (sedentarios). Los alelos ACE D, ACTN3 R, PPARA C y UCP2 son más probables a ser ventajosos en el rendimiento futbolístico , tener 4 o más de estos

				alelos aumenta la probabilidad de convertirte en un jugador de fútbol de elite. El puntaje genotípico es buen predictor de rendimiento.
Gineviciene et al. (2014).	Analizar la relación de los polimorfismo ACE (I/D), PPARGC1A (G/A) y PPARA (G/C) y el rendimiento de los futbolistas.	199 jugadores de fútbol masculino semiprofesional (17-20 años) y 167 sedentarios como grupo control (18-22 años).	ACE, PPARGC1A y PPARA	El genotipo ACE DD fue significativamente más bajo y el genotipo ACE ID más alto para todos los jugadores de fútbol en comparación con los controles. No hay diferencias con respecto a los polimorfismo PPARGC1A (G/A) y PPARA (G/C).
Jeremic et al. (2019).	Determinar si prevalece algún genotipo de los genes ACE/ACTN3 en la población evaluada y si las jugadoras con diferentes genotipos ACE/ACTN3 logran resultados significativamente diferentes en las pruebas básicas de velocidad, potencia y resistencia.	27 jugadoras de fútbol femenino pertenecientes a la selección de Serbia sub-18 (16-18 años).	ACE y ACTN3	No se encontró relación significativa entre el polimorfismo ACE/ACTN3 y el desempeño en diferentes pruebas de capacidades físicas de jóvenes futbolistas.
Koku et al. (2018).	Determinar la distribución del genotipo ACTN3 R577X en jugadores de fútbol y personas sedentarias.	100 jugadores de fútbol masculino (no elite). 101 sedentarios como grupo de control.	ACTN3	No se detectaron diferencias en la distribución del genotipo ACTN3 en la comparativa de los jugadores de fútbol con el

				grupo control. Se encontró que la distribución del genotipo ACTN3 R577X no tiene efecto sobre las características de sprint y resistencia en los dos grupos.
La Montagna et al. (2019).	Analizar la concordancia entre la información disponible sobre los efectos de los polimorfismos mejoradores del rendimiento (PEPs) relacionados con el desempeño atlético y el desempeño real del equipo.	30 jugadores de fútbol profesional masculino de diferentes nacionalidades	ACTN3, COL5A1, MCT1, VEGF y HFE	El equipo presenta una alta frecuencia de homocigotos XX en el gen ACTN3 (contradice la literatura). Existe una prevalencia del genotipo heterocigótico TC en el gen COL5A1 (contradice la literatura). En el gen VEGF el heterocigoto CG es el genotipo más común (va en línea con la literatura). En el gen MCT1 prevalece el genotipo heterocigoto AT (contradice la literatura).
McCabe, K., & Collins, C. (2018).	Identificar qué genes y genotipos están asociados con las lesiones más comunes (tobillo y rodilla) en los jugadores de fútbol y determinar el impacto que esto tiene en el número de partidos jugados.	289 jugadores de fútbol masculino (18-32 años), incluidos 46 profesionales, 98 semiprofesionales y 145 jugadores de fútbol amateur.	GDF5, AMPD1, COL5A1 y IGF2	Está claro que ciertos genes están relacionados con lesiones deportivas.
Meckel et al. (2020).	Observar las frecuencias de genotipo relacionadas con el	160 atletas varones (60 jugadores de fútbol, 51	PPARD CC y ACTN3 RR	No se encontraron diferencias significativas en

	rendimiento aeróbico (PPARD CC) y anaeróbico (ACTN3 RR).	corredores y saltadores, 59 corredores de larga distancia) y 51 sedentarios como grupo control.		la frecuencia de los genotipos ACTN3 RR y PPARD CC al comparar jugadores de fútbol con corredores de larga distancia o corredores/saltadores.
Mohd Fazli et al. (2021).	Investigar la relación entre las variantes genéticas relacionadas con el deporte y la estabilidad postural, la fuerza muscular y la potencia.	33 jugadores de fútbol profesional masculino (malasios).	ACE, ACTN3, PPARA, PPARGC1A, ADRB2, IL6, AGT, NOS3, MTHFR, PPARG	La mayoría de los participantes en este estudio llevan los alelos relacionados con la resistencia en lugar de los alelos relacionados con la potencia.
Petr et al. (2021).	Evaluar la influencia de las variantes genéticas en el rendimiento de velocidad, potencia y fuerza.	99 jugadores de fútbol profesional masculino (caucásicos). 107 sedentarios como grupo control.	ACTN3, ACE, NOS3, AMPD1, UCP2, BDKRB2 y IL1RN	Los homocigotos ACTN3 RR y NOS3 G/G y los portadores de alelos IL1RN/2 tienen mayor fuerza y potencia, y por lo tanto parecen estar predispuestos a las posiciones de los atacantes o defensores.
Pimenta et al. (2012).	Comparar la lesión muscular inflamatoria aguda después de un entrenamiento excéntrico en jugadores profesionales de fútbol con diferentes esquemas genéticos del gen ACTN3 (XX, RX and RR).	37 jugadores brasileños de fútbol masculino profesional.	ACTN3	El genotipo ACTN3 XX tiene mayor daño muscular en comparación a los sujetos con el genotipo ACTN3 RR después del ejercicio excéntrico. Los sujetos con el genotipo ACTN3 RR mostraron menor daño muscular. Los sujetos XX

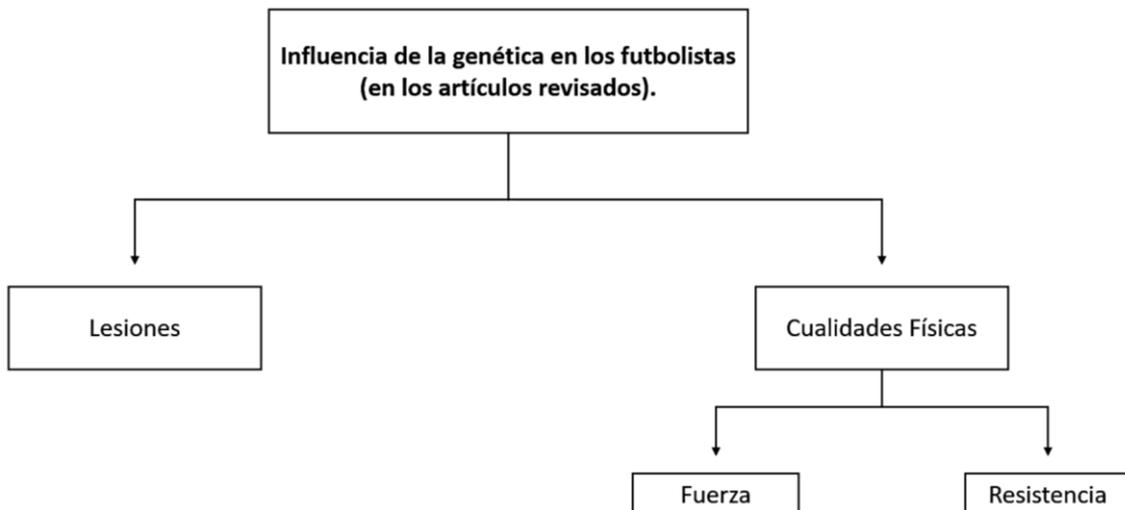
				necesitan mayor tiempo de recuperación.
Proia et al. (2014).	Analizar la frecuencia de los polimorfismos del gen PPAR $\alpha$ G/C en jugadores de fútbol profesionales.	60 jugadores profesionales de fútbol masculino. 30 sedentarios como grupo control.	PPAR $\alpha$	Se encontró que el genotipo GG y el alelo G en jugadores de fútbol es más alto en comparación con el grupo control.
Ulucan et al. (2015).	Determinar el genotipo y la distribución de alelos de ACTN3 y ACE en los jugadores de fútbol turcos.	25 jugadores de fútbol turcos profesional masculino	ACE, ACTN3	Del gen ACTN3 el genotipo RR y el alelo R fueron los que más aparecieron en la población. Del gen Ace el genotipo ID y el alelo D fueron los de mayor frecuencia en la muestra.
Wei, Q. (2021).	Investigar las correlaciones potenciales de los polimorfismos de los genes ACE I/D y ACTN3 y el rendimiento deportivo de las futbolistas profesionales chinas.	60 jugadoras profesionales de futbol femenino (chinas). 200 personas del común como grupo control.	ACE y ACTN3	El genotipo ACE ID y el genotipo ACTN3 XR dominaron en las futbolistas en comparación con el grupo control. El alelo R fue significativamente mayor entre las futbolistas en comparación con el grupo control. las jugadoras de élite son más propensas a albergar los genotipos heterocigotos de II + XR o ID + RR, que pueden ser beneficiosos para la resistencia, la potencia y la velocidad. El alelo I no tuvo diferencias significativas al comprar a los dos grupos.

#### 4.2 Resumen Artículos empleados

Para la siguiente revisión bibliográfica se tuvieron en cuenta los dieciocho artículos resumidos en el cuadro resumen (Tabla 2). Al realizar la lectura de los artículos empleados en esta revisión bibliográfica se ha podido deducir que la genética puede llegar a influir en dos ítems importantes el rendimiento deportivo de los jugadores de fútbol. El primero es que tan propenso a lesiones puede llegar a ser un jugador determinado, y el segundo son las cualidades físicas del deportista, las cuales se subdividen en fuerza/potencia y en resistencia (Figura 2).

#### Figura 2.

##### Genética y rendimiento deportivo



##### Artículos sobre cualidades físicas (Fuerza/Potencia y Resistencia)

El artículo de Paoli et al. (2014) cuenta con la participación de 60 jugadores profesionales de fútbol masculino, y busca determinar qué genotipo y qué alelo del gen PPAR $\alpha$  es más frecuente en los futbolistas que lograron llegar al fútbol profesional. Para ello, los investigadores decidieron analizar la frecuencia de cada genotipo y alelo del gen en los jugadores de fútbol profesional y compararlo con un grupo de 30 personas sedentarias.

Los resultados obtenidos al realizar el estudio fueron que, el genotipo GG y el alelo G aparecen con mayor frecuencia en los futbolistas profesionales cuando se compara con el grupo control. Estos resultados indican que los jugadores de fútbol tienen un perfil más orientado a la resistencia si se compara con personas sedentarias.

Egorova et al. (2014) establecieron como objetivo de su estudio investigar la relación de polimorfismos, los cuales habían sido relacionados con el rendimiento deportivo en otros estudios, con el nivel de los jugadores de fútbol. Para lograr conseguir el objetivo de su estudio, los investigadores determinaron los genes que, en estudios anteriores, habían sido relacionados con el rendimiento deportivo, posteriormente seleccionaron los sujetos que participaron en el estudio. En el estudio participaron 246 jugadores de fútbol masculino rusos, los cuales fueron separados en tres grupos por los investigadores (51 de elite, 81 sub elite y 114 no elite), y participaron 872 personas sedentarias como grupo control.

Tras el estudio obtuvieron como resultado que los alelos ACE D, ACTN3 R, PPARA C y UCP2 son más probables a ser ventajosos en el rendimiento futbolístico, tener 4 o más de estos alelos aumenta la probabilidad de convertirte en un jugador de fútbol de elite.

Continuando con la literatura analizada, en el artículo de Gineviciene et al (2014) se quiere determinar el impacto que tiene los polimorfismos de los genes ACE, PPARGC1A y PPARA en el rendimiento deportivo de los futbolistas. Para ello, hicieron un genotipado de 199 jugadores de fútbol masculino semiprofesional (17-20 años) y de 167 personas sedentarias (18-22 años), para poder comparar los perfiles genéticos de ambos grupos y de esta manera sacar conclusiones del impacto que tienen los polimorfismos, de los genes mencionados anteriormente, en el rendimiento deportivo de los jugadores de fútbol.

Después de obtener los perfiles genéticos de los dos grupos incluidos en el estudio, se obtuvo como resultado que el genotipo ACE DD fue significativamente más bajo y el genotipo ACE ID más alto para todos los jugadores de fútbol en comparación con el grupo control. Por otro lado, los investigadores no encontraron diferencias significativas entre todos los futbolistas y el grupo control con respecto a los polimorfismos PPARGC1A (G/A) y PPARA (G/C).

El artículo de Ulucan et al. (2015) contó con la participación de 25 jugadores de fútbol profesional masculino, todos los participantes son nacidos en Turquía. Los investigadores se plantean como objetivo analizar qué genotipo y qué alelo es más común en los futbolistas que logran llegar al fútbol profesional. Para lograr alcanzar su objetivo sacaron muestras de sangre de cada uno de los 25 futbolistas profesionales para realizar un test de ADN y determinar que genotipo de los genes ACTN3 y ACE poseía cada uno de los participantes.

Tras finalizar el estudio encontraron que cuando se estudió el gen ACTN3, el genotipo RR y el alelo R fueron los que más aparecieron en la población. Mientras que del gen ACE, el genotipo ID y el alelo D fueron los de mayor frecuencia en la muestra. Con estos resultados, los investigadores concluyeron que los futbolistas analizados tienen un perfil más orientado a la fuerza/potencia que a la resistencia. Es importante aclarar que al finalizar el artículo se advierten que la muestra utilizada es muy pequeña para obtener resultados completamente concluyentes.

Otro estudio revisado fue el de Coelho et al. (2016), en su estudio tenían como principal objetivo determinar las frecuencias alélicas y genotípicas del gen ACE en un grupo de jugadores de fútbol brasileños de diferentes grupos de edad (43 sub-14, 68 sub-15, 44 sub-17 y 115 sub-20, 83 profesionales). Para ello realizaron pruebas de ADN mediante extracción de sangre de los participantes, y de esta manera determinaron el genotipo y el alelo más frecuente en cada uno de los grupos. Los resultados obtenidos los compararon con un grupo control (100 personas sedentarias), para analizar la relación entre los genotipos del gen ACE y el rendimiento deportivo. Así mismo, compararon los resultados entre los diferentes grupos de edad.

Como resultados finales, no encontraron diferencias entre los futbolistas y los sujetos del grupo control. Además, no se encontraron diferencias significativas en las frecuencias genotípicas entre las diferentes categorías (edades). La conclusión de los investigadores, tras analizar los resultados, es que la frecuencia de un determinado alelo o genotipo del gen ACE no es un factor determinante para el rendimiento de los jugadores brasileños.

Por otra parte, Ciężczyk et al. (2016) en su artículo, estudiaron a 106 jugadores profesionales de fútbol masculino de los mejores equipos de la liga polaca. Los futbolistas fueron divididos por la posición que ocupan en el campo, dando como resultado, 28 delanteros, 38 defensores, 32 centrocampistas y 8 porteros. Además, contaron con la participación de 115 estudiantes sedentarios como grupo control. El objetivo principal de los investigadores, como hemos visto en estudios anteriores, era determinar el genotipo y el alelo más común del gen ACE en los futbolistas profesionales. Posteriormente, compararon esos resultados con los resultados obtenidos por el grupo control, para descubrir la relación entre el genotipo y el rendimiento futbolístico. Además, quisieron determinar si existe alguna diferencia entre el genotipo de los futbolistas y la posición que ocupan en el terreno de juego.

Para lograr alcanzar el objetivo establecido, realizaron un genotipado de todos los participantes del estudio, mediante una muestra de células del interior de la boca. Los resultados obtenidos fueron que, la distribución de genotipos y frecuencias alélicas entre todos los jugadores de fútbol no difirieron significativamente en comparación con los individuos de control sedentarios. Tampoco encontraron diferencias significativas al comprar las posiciones de los jugadores.

Otro artículo analizado en esta revisión bibliográfica fue el desarrollado por Dionísio et al. (2017). En su estudio, se preguntaban si los polimorfismos de los genes ACTN3, ACE, AGT y AMPD1 pueden afectar en diferentes pruebas de rendimiento como salto, sprint y resistencia en jugadores de fútbol. Para ello, contaron con la participación de 220 jugadores brasileños de fútbol profesional masculino entre los 14 y los 18 años de edad. Se usó la saliva de los atletas para realizar el genotipado de cada uno de los participantes. Para determinar el rendimiento de salto, sprint y resistencia de los participantes se llevaron a cabo diferentes pruebas de rendimiento, estos resultados se compararon con el genotipo de cada atleta para obtener los resultados finales.

El estudio dio como resultados que, los jugadores con genotipos RR/RX del gen ACTN3 y los genotipos DD del gen ACE presentaron un mejor rendimiento durante el salto y la prueba de sprint. Mientras que, los futbolistas con genotipo ID/II del gen ACE presentaron mejores resultados durante la prueba de resistencia. Con respecto a los genes AGT y AMPD1 los investigadores no obtuvieron resultados concluyentes o significativos. Aclaran que se deben efectuar más estudios para determinar su influencia en el rendimiento.

Koku et al. (2019) en su estudio quisieron encontrar la relación entre el gen ACTN3 y el rendimiento deportivo de los jugadores de fútbol. Para ello realizaron una prueba de ADN a 100 jugadores de fútbol masculino y a 101 personas sedentarias, que actuaron como grupo control en el estudio. La idea de los investigadores fue comparar los genotipos del gen ACTN3 en cada uno de los grupos e identificar diferencias que pudieran dar resultados concluyentes y significativos.

Al finalizar el estudio, los investigadores no detectaron diferencias en la distribución del genotipo ACTN3 en la comparativa de los jugadores de fútbol con el grupo control. Se encontró que la distribución del genotipo ACTN3 R577X no tiene efecto sobre las características de sprint y resistencia en los dos grupos.

En el mismo año, Jeremic et al. (2019) publicaron un artículo que tuvo la participación de 27 jugadoras de fútbol femenino pertenecientes a la selección de Serbia sub-18. El objetivo del estudio era determinar si prevalece algún genotipo de los genes ACE y ACTN3 en la población evaluada, y si las jugadoras con diferentes genotipos de los genes ACE y ACTN3 logran resultados significativamente diferentes en las pruebas básicas de velocidad, potencia y resistencia. Para lograr su objetivo, los investigadores realizaron un genotipado de todas las participantes del estudio, mediante una muestra de células del interior de la boca, para saber el genotipo de los genes ACE y ACTN3 de cada una de las futbolistas. Posteriormente, las jugadoras debían ejecutar cinco pruebas físicas para evaluar su rendimiento.

Al finalizar el estudio, obtuvieron como resultado que el genotipo RX del gen ACTN3 y el genotipo DD del gen ACE fueron los más comunes en la población evaluada. Además, no encontraron relación significativa entre los polimorfismos de los genes ACE y ACTN3, y el desempeño en diferentes pruebas de capacidades físicas.

El estudio de La Montagna et al. (2020) se basaba en estudiar cinco genes; ACTN3, COL5A1, MCT1, VEGF y HFE. El objetivo de los investigadores era analizar la concordancia entre la información disponible sobre los efectos de los polimorfismos mejoradores del rendimiento relacionados con el desempeño atlético y el desempeño real del equipo. Por lo tanto, lo que hicieron fue, primero que todo, buscar la información disponible de los genes anteriormente mencionados y determinar que genotipos de cada gen estaban más orientados a la resistencia y cuáles más orientados a la fuerza. Posteriormente, obtuvieron el perfil genético de 30 jugadores de fútbol profesional masculino de diferentes nacionalidades, los cuales a lo largo de la temporada habían presentado un excelente rendimiento físico. Se realizó una comparación entre los resultados de las investigaciones y los resultados de los perfiles genéticos de los futbolistas.

Obtuvieron como resultado que el equipo participante en el estudio presenta una alta frecuencia de homocigotos XX en el gen ACTN3. Existe una prevalencia del genotipo heterocigótico TC en el gen COL5A1. En el gen VEGF el heterocigoto CG es el genotipo más común. En el gen MCT1 prevalece el genotipo heterocigoto AT. El genotipo CG es muy usual en el equipo analizado. Con resultados encontrados, los investigadores concluyeron que los resultados de varios genes contradicen a la literatura, y que el equipo analizado logró obtener un buen rendimiento físico a lo

largo de la temporada gracias a un notable programa de entrenamiento y no por los genes de los futbolistas.

Otro artículo empleado en esta revisión fue el de Meckel et al. (2020) decidieron observar las frecuencias de genotipo de los genes PPARG y ACTN3 en 160 atletas varones, de los cuales 60 eran jugadores de fútbol, 51 eran corredores y saltadores, y 59 eran corredores de larga distancia. Además, se dispuso de 51 personas sedentarias como grupo control. El objetivo de los investigadores fue comparar los genotipos más frecuentes en los futbolistas con el resto de grupos que participaron en el estudio, y de esta manera poder determinar si el perfil genético de los futbolistas estaba más orientado a deportes de fuerza/potencia o de resistencia. Para ello, hicieron un genotipado de todas las participantes del estudio, mediante una muestra de células del interior de la boca.

Al finalizar el estudio no encontraron diferencias significativas en la frecuencia de los genotipos de los genes ACTN3 y PPARG al comparar jugadores de fútbol con corredores de larga distancia o corredores/saltadores. Además, se percataron que los futbolistas no tienen una clara tendencia genotípica en comparación con corredores/saltadores y los corredores de larga distancia. Por último, se pudo observar que los futbolistas tuvieron mayor prevalencia de genotipos mixtos aeróbicos-anaeróbicos.

En el artículo de Clos et al. (2021) se preguntaron si existían diferencias genotípicas en los jugadores de fútbol que ocupaban diferentes posiciones en el campo. Para resolver esta incógnita decidieron elaborar un estudio, en el que tenían como objetivo principal evaluar el genotipo y la distribución de alelos del gen ACTN3 en los jugadores de un equipo de fútbol profesional. Para elaborar el estudio, contaron con la participación de 43 jugadores de fútbol profesional masculino, los cuales fueron divididos por posiciones que ocupaban dentro del terreno de juego. A cada participante se le hizo una prueba de ADN por extracción de sangre, para obtener su genotipo del gen ACTN3.

Tras finalizar el estudio, descubrieron que el genotipo RX del gen ACTN3 fue el que más común en el grupo de jugadores evaluados. Por otra parte, el alelo R estuvo presente en el 93% de los participantes. La distribución del genotipo del gen ACTN3 no fue significativamente diferente entre las posiciones evaluadas. En la distribución de los alelos si se encontraron diferencias significativas entre las posiciones

evaluadas. La distribución de alelos del portero, defensa central y mediocentro (Alelo X) difería de la de medios exteriores, delanteros, extremos y laterales (R).

En el artículo de Mohd Fazli et al. (2022) es donde más genes se analizan, ya que realizan un puntaje genotípico de cada uno de los participantes del estudio para determinar la relación entre las variantes genéticas relacionadas con el deporte y el rendimiento. Para hacer el puntaje genotípico, los investigadores partieron de la base de las asociaciones de cada gen con la resistencia y/o la potencia. Al genotipo homocigoto óptimo se le asignó una puntuación de 2. Al genotipo intermedio una puntuación de 1 y a los genotipos homocigotos menos óptimos una puntuación de 0. El estudio tuvo la participación de 33 jugadores de fútbol profesional masculino, a los cuales se les realizó una prueba de ADN para determinar su perfil genético, y además, realizaron pruebas físicas para conocer sus niveles de fuerza, potencia, resistencia y estabilidad postural.

Obtuvieron como resultados que, la mayoría de los participantes en este estudio llevan los alelos relacionados con la resistencia en lugar de los alelos relacionados con la potencia. Hay una relación entre un puntaje genotípico alto y la fuerza muscular, el rendimiento de potencia y la estabilidad postural de los jugadores de fútbol de élite. Además, se puede interpretar que la fuerza muscular, el rendimiento de potencia y la estabilidad postural de aquellos con mayor puntaje genotípico fueron mayores.

Por otro lado, Petr et al. (2022) motivados por evaluar la influencia de las variantes genéticas en el rendimiento de velocidad, potencia y fuerza, y como esto afecta a la posición del campo donde se desempeñan los futbolistas, decidieron llevar a cabo un estudio que contó con la participación de 99 jugadores de fútbol profesional masculino y 107 personas sedentarias que actuaron como grupo control. Para ello, realizaron pruebas de ADN a todos los participantes del estudio y se dividió al grupo experimental en las posiciones que ocupaba cada jugador. Después de hacer las pruebas de ADN y determinar el perfil genético de los participantes, decidieron enfocarse en cinco genes que, previamente, habían sido asociados con la velocidad y la potencia.

Los resultados no han encontrado ninguna relación entre los parámetros de fuerza/potencia probados y los genotipos para los genes ACE, UCP2, BDKRB2. Las medidas de fuerza y potencia son mayores en los atacantes y defensores, donde algunos marcadores genéticos pueden apoyar estos hallazgos,

específicamente, los homocigotos ACTN3 RR y NOS3 GG. Además, se encontró que los portadores de alelos IL1RN/2 tienen mayor fuerza/potencia, y, por lo tanto, parecen estar predispuestos a las posiciones de los atacantes o defensores.

Wei (2021) redactó un artículo sobre los polimorfismos de los genes ACE y ACTN3 en mujeres futbolistas. En su estudio se planteó como objetivo investigar las correlaciones potenciales de los polimorfismos de los genes ACE y ACTN3 y el rendimiento deportivo de las futbolistas profesionales chinas. Para ello, tuvo la participación de 60 jugadoras profesionales de fútbol femenino de origen chino y 200 personas del común que hacían la función de grupo control. Realizó un prueba de ADN por extracción de sangre a todos los participantes del estudio para obtener sus genotipos.

Los resultados obtenidos tras finalizar el estudio fueron que el genotipo ACE ID y el genotipo ACTN3 XR dominaron en las futbolistas en comparación con el grupo control. El alelo R fue significativamente mayor entre las futbolistas en comparación con el grupo control. Las jugadoras de élite son más propensas a albergar los genotipos heterocigotos de II + XR o ID + RR, que pueden ser beneficiosos para la resistencia, la potencia y la velocidad. El alelo I no tuvo diferencias significativas al comparar a los dos grupos.

### Artículos sobre lesiones

El estudio de Pimenta et al. (2012) tenía como objetivo medir el daño muscular, las respuestas hormonales y las respuestas inflamatorias del músculo tras un ejercicio excéntrico en tres grupos de futbolistas con diferentes perfiles genéticos del gen ACTN3. Para ello, dividieron a 37 futbolistas profesionales brasileños en tres grupos, dependiendo del genotipo del gen ACTN3 que mostraran, obtuvieron como resultado (9 XX, 13 RR, 15 RX). Luego los deportistas debían pasar por cinco estaciones en donde realizaban ejercicios de contracción muscular excéntrica y pliometría. Para poder medir el daño muscular, las respuestas hormonales y las respuestas inflamatorias del músculo, se tomaron muestras de sangre de los jugadores antes, inmediatamente después, dos horas después y cuatro horas después de realizado el ejercicio. Más tarde, se analizaron la concentración de cortisol y testosterona, para determinar las respuestas hormonales, la concentración de creatina quinasa y  $\alpha$ -actina, para determinar el daño muscular, y la concentración de IL-6, para conocer las respuestas inflamatorias del músculo.

El estudio obtuvo como resultado que, después del entrenamiento excéntrico, la concentración de los indicadores usados en el estudio para medir el daño muscular (Creatina quinasa,  $\alpha$ -actina) fueron mayores en los sujetos con el genotipo XX en comparación a los sujetos con el genotipo RR. La principal conclusión del estudio es que los sujetos con el genotipo XX necesitan mayor tiempo de recuperación. Demostrando que existe una influencia del genotipo del gen ACTN3 en las lesiones por daño muscular.

Motivados por saber si la genética puede predecir lesiones deportivas, McCabe y Collins (2018) llevaron a cabo un estudio donde quisieron identificar qué genes y genotipos están asociados con las lesiones más comunes (tobillo y rodilla) en los jugadores de fútbol, y determinar el impacto que esto tiene en el número de partidos jugados. Para ello, contaron con la participación de 289 jugadores de fútbol masculinos, incluidos 46 profesionales, 98 semiprofesionales y 145 jugadores de fútbol amateur. Posteriormente, realizaron un genotipado de todos los participantes del estudio, mediante una muestra de células del interior de la boca, y registraron durante toda una temporada cuantas lesiones tenían y en cuantos partidos no estaban disponibles debido a la lesión. Los investigadores se centraron en los genes GDF5, AMPD1, COL5A1 y IGF2, los cuales habían mostrado relación con lesiones deportivas en estudios anteriores.

Al finalizar el estudio obtuvieron resultados para cada uno de los genes analizados en el estudio. En primer lugar, los jugadores con genotipo TT del gen GDF5 tenían un mayor número de lesiones de tobillo, rodilla y una disminución en el número de partidos jugados. Por otro lado, al analizar el gen AMPD1 se encontró que los jugadores con el genotipo CC tienen significativamente menos lesiones de tobillo y rodilla, y jugaron significativamente más partidos que los de alelo T. Esto sugiere que los jugadores de fútbol con variantes T del gen AMPD1 también podrían requerir una recuperación más larga entre el entrenamiento sesiones y partido. Posteriormente, se analizó el gen COL5A1, el cual dio como resultado que los jugadores con los genotipos TT tenían un mayor número de lesiones y disminución del número de partidos jugados. Por último, los jugadores con el genotipo GG del gen IGF2 tuvieron un mayor número de lesiones y reducción en el número de partidos jugados en general. Los investigadores concluyeron, a partir de los resultados, que está claro que ciertos genes están relacionados con lesiones deportivas en jugadores de fútbol.

Potro otro lado, Clos et al. (2019) quisieron estudiar en su artículo el gen ACTN3 y como este estaba asociado con la incidencia de lesiones, sin contacto, del tejido blando musculoesquelético en jugadores de fútbol profesionales de élite. En el estudio contaron con la participación de 43 futbolistas profesionales masculinos. Los investigadores registraron las lesiones de tejidos blandos musculoesqueléticos sin contacto de los futbolistas durante 7 temporadas diferentes (2007-2012 y 2015-2016). Con los resultados obtenidos se estableció la tasa de lesiones, la gravedad de las mismas y los tiempos de recuperación. Los investigadores genotipificaron a los jugadores a través de pruebas de ADN por extracción de sangre.

Al comparar los resultados obtenidos, tanto en las pruebas de ADN como en el registro de las lesiones a lo largo de 7 temporadas, se logró determinar que el genotipo XX de jugadores de fútbol que participaron en el estudio tuvo la mayor tasa de lesiones, seguido por el RR y RX. Con los resultados obtenidos, los investigadores lograron concluir que el polimorfismo de nucleótido único ACTN3, R577X, puede considerarse como un biomarcador potencial de la susceptibilidad a lesiones sin contacto del tejido blando musculoesquelético.

Para finalizar el estudio de La Montagna et al. (2020) el cual se basaba en estudiar cinco genes; ACTN3, COL5A1, MCT1, VEGF y HFE. El objetivo de los investigadores era analizar la concordancia entre la información disponible sobre los efectos de los polimorfismos mejoradores del rendimiento relacionados con el desempeño atlético y el desempeño real del equipo. Por lo tanto, lo que hicieron fue, primero que todo, buscar la información disponible de los genes anteriormente mencionados y determinar que genotipos de cada gen estaban más orientados a la resistencia y cuáles más orientados a la fuerza. Posteriormente, obtuvieron el perfil genético de 30 jugadores de fútbol profesional masculino de diferentes nacionalidades, los cuales a lo largo de la temporada habían presentado un excelente rendimiento físico. Se realizó una comparación entre los resultados de las investigaciones y los resultados de los perfiles genéticos de los futbolistas.

Obtuvieron como resultado que el equipo participante en el estudio presenta una alta frecuencia de homocigotos XX en el gen ACTN3. Existe una prevalencia del genotipo heterocigótico TC en el gen COL5A1. En el gen VEGF el heterocigoto CG es el genotipo más común. En el gen MCT1 prevalece el genotipo heterocigoto AT. El genotipo CG es muy frecuente en el equipo analizado. Con resultados encontrados, los investigadores concluyeron que los resultados de varios genes

contradicen a la literatura, y que el equipo analizado logro obtener un buen rendimiento físico a lo largo de la temporada gracias a un excelente programa de entrenamiento y no por los genes de los futbolistas.

## 5 Discusión

Cada artículo elaboraba su estudio partiendo de un gen/polimorfismo determinado, y los estudios podían ser orientados a las lesiones deportivas o a las cualidades físicas de los futbolistas. A continuación se presenta de forma organizada y visual (Tabla 3), que orientación tenía cada uno de los artículos y que gen/polimorfismo estudiaron. Así mismo, se muestran los resultados de los artículos de lesiones (Tabla 4) y de los de cualidades físicas (Tabla 5).

**Tabla 3**

*Tema tratado por cada artículo*

Factor de rendimiento	N.º de artículos	Gen	Artículos
<b>Lesiones</b>	4	ACTN3 , COL5A1, GDF5, AMPD1, IGF2, MCT1, VEGF y HFE	2, 10, 11, 15
<b>Cualidades Físicas</b>	15	ACTN3, ACE, PPAR $\alpha$ , UCP2, PPARGC1A, AGT, AMPD1, NOS3, COL5A1, MCT1, VEGF, HFE, ADRB2, IL6 y MTHFR	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18

**Tabla 4**

*Artículos sobre lesiones*

Gen	Artículo	Hallazgos
<b>ACTN3</b>	2, 10, 15	1) El genotipo RR mostraron menor daño muscular. XX necesitan mayor tiempo de recuperación. 2) El genotipo XX tuvo la mayor tasa de lesiones, seguido por el RR y RX. 3) Equipo con excelente rendimiento físico presenta una alta frecuencia de homocigotos XX.
<b>COL5A1</b>	10, 11	1) Los genotipos TT tenían un mayor número de lesiones. 2) Equipo con excelente rendimiento físico presenta

		una prevalencia del genotipo heterocigótico TC.
<b>GDF5</b>	11	Genotipo TT tenían un mayor número de lesiones de tobillo, rodilla.
<b>AMPD1</b>	11	Genotipo CC tienen menos lesiones de tobillo y rodilla
<b>IGF2</b>	11	Genotipo GG tuvieron un mayor número de lesiones
<b>MCT1</b>	10	En un equipo con excelente rendimiento físico prevalece genotipo heterocigoto AT.
<b>VEGF</b>	10	En un equipo con excelente rendimiento físico prevalece el heterocigoto CG es el genotipo más común.
<b>HFE</b>	10	No se realizaron hallazgos relevantes.

**Tabla 5**
*Artículos sobre cualidades físicas*

<b>Gen</b>	<b>Artículo</b>	<b>Hallazgos</b>
<b>ACTN3</b>	3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 17, 18	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Alelo R es ventajoso.</li> <li>2) Genotipo RR y alelo R presentes en elite</li> <li>3) RR/RX mejor rendimiento potencia.</li> <li>4) No se detectaron diferencias.</li> <li>5) No se encontró relación significativa.</li> <li>6) Equipo top alta frecuencia de XX.</li> <li>7) No se encontró relación.</li> <li>8) RX y alelo R está presente en elite.</li> <li>9) Relación entre genes y rendimiento.</li> <li>10) RR tienen mayor fuerza y potencia.</li> <li>11) RX y el alelo R alto en futbolistas.</li> </ol>
<b>ACE</b>	1, 4, 6, 7, 8, 13, 14, 17, 18	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Alelo D es más ventajoso.</li> <li>2) DD fue más bajo y el genotipo ID más alto en futbolistas.</li> <li>3) ID y alelo D presentes en elite.</li> <li>4) No se encontraron diferencias.</li> <li>5) No se encontraron diferencias.</li> <li>6) DD presentaron un mejor rendimiento.</li> <li>7) No se encontró relación significativa.</li> <li>8) Relación entre genes y rendimiento.</li> <li>9) No se ha encontrado ninguna relación.</li> <li>10) ID fue el más alto en futbolistas.</li> </ol>
<b>PPAR<math>\alpha</math></b>	6, 7, 12, 13, 16	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) GG y alelo G en jugadores de fútbol.</li> <li>2) El alelo C es ventajoso.</li> <li>3) No se encontraron diferencias significativas.</li> <li>4) No se encontraron diferencias significativas.</li> <li>5) Relación entre genes y rendimiento.</li> </ol>
<b>UCP2</b>	6, 14	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) No se hicieron hallazgos relevantes.</li> </ol>

		2) No se ha encontrado ninguna relación.
<b>PPARGC1A</b>	7, 13	1) No se encontraron diferencias significativas. 2) Relación entre genes y rendimiento.
<b>AGT</b>	5, 13	1) No se hicieron hallazgos relevantes. 2) Relación entre genes y rendimiento.
<b>AMPD1</b>	5, 14	1) No se hicieron hallazgos relevantes. 2) No se hicieron hallazgos relevantes.
<b>NOS3</b>	13, 14	1) Relación entre genes y rendimiento. 2) GG tienen mayor fuerza y potencia.
<b>COL5A1</b>	10	Equipo top prevalece del genotipo TC.
<b>MCT1</b>	10	Equipo top prevalece el genotipo AT
<b>VEGF</b>	10	Equipo top prevalece el genotipo CG.
<b>HFE</b>	10	No se hicieron hallazgos relevantes.
<b>ADRB2</b>	13	Relación entre genes y rendimiento.
<b>IL6</b>	13	Relación entre genes y rendimiento.
<b>MTHFR</b>	13	Relación entre genes y rendimiento.

### Cualidades físicas

Al finalizar la revisión de todos los artículos empleados en este trabajo, se identificaron todos los genes que están relacionados con la fuerza/potencia y con la resistencia en los deportistas, y que genotipo es el más óptimo para cada cualidad física (Tabla 5).

### **Tabla 6**

*Genes y cualidad física. Elaboración Propia.*

<b>Gen</b>	<b>Cualidad Física</b>	<b>Genotipos que aumentan rendimiento (Resistencia)</b>	<b>Genotipos que aumentan el rendimiento (Potencia)</b>
ACTN3	Fuerza y Resistencia	XX	RR
ACE	Fuerza y Resistencia	II	DD
PPAR $\alpha$	Fuerza y Resistencia	GG	CC
UCP2	Resistencia	TT	-
PPARGC1A	Resistencia	GG	-
AGT	Fuerza	-	CC
AMPD1	Resistencia	CC	-
NOS3	Fuerza	-	TT
COL5A1	Resistencia	TT	-
MCT1	Resistencia	TT	-
VEGF	Resistencia	CC	-
HFE	Resistencia	CC	-
ADRB2	Fuerza	-	GG
IL6	Fuerza	-	GG
MTHFR	Fuerza	-	CC

### *Fuerza/Potencia*

En los estudios utilizados en esta revisión bibliográfica se identificaron ocho genes o polimorfismos que están asociados con la fuerza. De los genes o polimorfismos encontrados, los más estudiados y con mayores resultados son los genes ACE, ACTN3 y PPARA. Los otros genes encontrados, solo aparecían en uno, o máximo dos artículos, limitando las conclusiones que se pueden obtener de ellos.

- ACTN3

Dionisio et al (2017) encontraron en su estudio que los jugadores con genotipos RR/RX presentaron un mejor rendimiento durante el salto y la prueba de sprint. Estos resultados coinciden con Egorova et al. (2014) y con Petr et al. (2021), que demostraron que el alelo R y el genotipo RR del gen son más ventajosos para la fuerza y la potencia de los futbolistas. Estos resultados, además, están respaldados por Ulucan et al. (2015), por Clos et al. (2020) y por Wei (2021), que encontraron en un grupo de futbolistas de elite mayor presencia del alelo R que en diferentes grupos de control (sedentarios). De los artículos revisados sobre este gen hay cuatro que contradicen los resultados de que el alelo R sea ventajosos en los futbolistas, La Montagna et al. (2019) no coinciden con los hallazgos previamente mencionados, ya que en un equipo de fútbol de elite (Napoli), se encontró que el genotipo más común era el XX. Además, Koku et al. (2018), Jeremic et al. (2019) y Meckel et al. (2020) no encontraron una relación significativa entre el genotipo y/o el alelo y el rendimiento de la fuerza o potencia de los futbolistas.

El estudio de Petr et al. (2021) es el que cuenta con la muestra mas grande, sin embargo, algunos participantes son jugadores de la segunda división de republica checa, lo que indica que no son jugadores de primer nivel. Por otra parte, el estudio La Montagna et al. (2019) cuenta una menor muestra pero los jugadores pertenecen a un equipo de primera división italiana, una de las cinco grandes ligas europeas, lo que brinda gran fiabilidad a su muestra. Los estudios presentan resultados, como se mencionó anteriormente, contradictorios lo que no permite afirmar con certeza que el alelo R del gen ACTN3 sea determinante para el rendimiento deportivo de los futbolistas.

- ACE

Dionisio et al (2017) encontraron en su estudio que los jugadores con genotipos DD presentaron un mejor rendimiento durante el salto y la prueba de sprint. Estos

resultados contradicen lo expuesto por Gineviciene et al. (2014), donde encontraron que el genotipo DD era el menos común en un grupo de futbolistas de elite. Egorova et al. (2014), Ulucan et al. (2015) y Wei (2021) coinciden que el alelo D está presente con una alta frecuencia en los futbolistas de elite, y puede ser un determinante del rendimiento de la potencia de un futbolista. Sin embargo, Coelho et al. (2016), Ciężczyk et al. (2016), Jeremic et al. (2019) y Petr et al. (2021) no encontraron ninguna relación entre el rendimiento de fuerza y potencia de los futbolistas con el genotipo o el alelo del gen ACE.

- PPARA

Egorova et al. (2014) sugieren que el alelo C puede ser ventajoso para el rendimiento de la fuerza y la potencia en los futbolistas. En contraposición a estos resultados Proia et al. (2014) muestran que el genotipo GG y el alelo G son los más comunes en un grupo de futbolistas de elite. Por otra parte, Meckel et al. (2020) y Gineviciene et al. (2014) no encontraron ninguna relación entre el rendimiento de fuerza y potencia de los futbolistas con el genotipo o el alelo del gen PPARA.

- NOS3

Petr et al. (2021) determinaron que los sujetos con el genotipo GG tienen mayor fuerza y potencia. Solo el artículo de Petr et al. (2021) obtuvo resultados relevantes, no se puede hacer una comparativa con otros estudios.

- ADRB2, IL6, MTHFR

Fazli et al. (2021) determinaron que ciertos genotipos de estos genes aumentan el puntaje genotípico y podrían aumentar el rendimiento de los jugadores de fútbol, aunque no indican con exactitud en que variable pueden ayudar.

### *Resistencia*

La resistencia es otro factor determinante en el rendimiento de los jugadores de fútbol, por ello en la preparación física del fútbol es un ítem tan importante en la planificación del entrenamiento. En los artículos revisados se encontraron diez genes o polimorfismos relacionados con la resistencia en los futbolistas. Los más estudiados y con mayores resultados son los genes ACE, ACTN3 y PPARA. Los otros genes encontrados, solo aparecían en uno, o máximo dos artículos, limitando las conclusiones que se pueden obtener de ellos.

- ACTN3

La Montagna et al. (2019) encontraron que el genotipo más común era el XX en un equipo de fútbol de élite (Napoli), el cual tuvo un excelente rendimiento físico a lo largo de la temporada. Sin embargo, estos resultados están en contraposición con Ulucan et al. (2015), Clos et al. (2020) y Wei (2021), que encontraron en un grupo de futbolistas de elite mayor presencia del alelo R que en diferentes grupos de control (sedentarios). Solo un estudio de los once revisados obtuvo una mayor presencia del genotipo XX en futbolistas de élite.

- ACE

Gineviciene et al. (2014), Ulucan et al. (2015) y Wei (2021) coinciden que el genotipo más común en futbolistas de elite es ID, lo que sugiere un perfil genético balanceado y no tan marcado hacia la fuerza o la resistencia.

- PPARA

Proia et al. (2014) demuestran que el genotipo GG y el alelo G son los más comunes en un grupo de futbolistas de elite. Con estos resultados se podría concluir que en el Gen PPARA el futbolista de élite esta más orientado a polimorfismos asociados con la resistencia, sin embargo, con un solo estudio y ningún otro que lo reafirme, es muy difícil afirmarlo.

- UCP2

Al estudiar el gen UCP2 asociado con la resistencia de los futbolistas, Petr et al. (2021) y Egorova et al. (2014) no encontraron relaciones relevantes en sus estudios.

- PPARGC1A, AMPD1

Al estudiar estos genes y su relación con la resistencia de los futbolistas, Gineviciene et al. (2014) Petr et al. (2021) y Dionísio et al. (2017) no encontraron resultados relevantes en sus estudios.

- COL5A1, MCT1, VEGF, HFE

Fazli et al. (2021) determinaron que existe una relación entre estos genes y el rendimiento de los futbolistas.

### Lesiones

- ACTN3

Pimenta et al. (2014) demostraron que los jugadores con el genotipo RR presentan menor daño muscular y que los jugadores con el genotipo XX necesitan mayor tiempo de recuperación. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Clos et al. (2019), los cuales demostraron en su estudio que los jugadores con el genotipo XX tuvieron la mayor tasa de lesiones, seguido por el RR y RX. Sin embargo, en contraposición a los resultados anteriores La Montagna et al. (2019) encontraron que un equipo de elite, con excelente rendimiento físico durante la temporada, presentaba una alta frecuencia de jugadores con genotipo XX.

- COL5A1

McCabe et al. (2018) obtuvieron como resultado que los futbolistas con los genotipos TT tenían un mayor número de lesiones. En contraposición a estos resultados, La Montagna et al. (2019) encontraron que un equipo de elite, con excelente rendimiento físico durante la temporada, presentaba una alta frecuencia de jugadores con genotipo TC y alelo C.

- GDF5, AMPD1, IGF2, MCT1, VEGF, HFE

No es posible realizar una discusión ya que solo aparecen en un artículo de los seleccionados para esta revisión bibliográfica. Los resultados se muestran apartado anterior (Tabla 4).

## **6 Futuras líneas de investigación**

Después de realizar la revisión bibliográfica de los artículos sobre la influencia de la genética en el rendimiento deportivo de los futbolistas, puede determinar que existe una amplia investigación de los genes ACTN3 y ACE específicamente, pero falta mucha literatura científica que estudie los otros genes que podrían estar relacionados con el rendimiento de los jugadores de fútbol. Incluso en el apartado de discusión de este trabajo no se pudo realizar una comparación de algunos genes asociados al rendimiento por la falta literatura al respecto.

También es importante resaltar los pocos estudios sobre la influencia de la genética en las lesiones que se encontraron al realizar la búsqueda. Siendo un factor tan determinante en el rendimiento de los futbolistas, se recomienda que se amplie en un futuro la investigación es este tema.

Sería interesante, además, profundizar en las diferencia genéticas entre jugadores de diferente etnia. Solo dos artículos de los dieciocho que se emplearon en esta revisión hacían referencia a las diferencias que podían existir entre las diferentes etnias, sin arrojar resultados relevantes.

## 7 Conclusiones

Tras la lectura, resumen y análisis de los artículos se puede concluir, con respecto al objetivo principal, que no está demostrada la relación entre genética y rendimiento deportivo en los jugadores de fútbol. Al realizar el análisis de los estudios se puede observar que, hay una gran cantidad que no obtienen resultados significativos que permitan comprobar la relación. Por otra parte, hay artículos que si obtienen resultados significativos, pero al ejecutar la comparativa con otros estudios similares, se encuentran grandes contradicciones y pocas coincidencias. Además, en los estudios donde se determinaba el perfil genético de los jugadores profesionales se pueden observar diferencias importantes entre ellos

En cuanto al primer objetivo secundario, no se pudo demostrar con claridad la influencia de la genética en la potencia de los jugadores de fútbol. Los genes más estudiados, ACTN3 y ACE presentaron resultados contradictorios cuando se llevó a cabo la comparativa de los estudios.

Continuando con los objetivos secundarios, tampoco se logró demostrar que la genética tenga alguna influencia en la resistencia de los futbolistas. Aunque, para el gen ACE, tres artículos encontraron que el genotipo ID es más común en jugadores de fútbol, lo cual reafirma que no hay un perfil genético marcado en los futbolistas.

En relación con el último objetivo secundario, no se pudo demostrar que exista influencia de la genética en las lesiones de los jugadores de fútbol. En los artículos analizados se encuentran pocas coincidencias cuando se realiza la comparativa. Sin embargo, es importante aclarar que la mayoría de los genes, relacionados con lesiones, contaban con una escasa literatura para efectuar una comparación más fiable y que es un campo donde se debe ampliar la investigación.

## 8 Referencias bibliográficas

- Cięszczyk, P., Leońska-Duniec, A., Maciejewska-Skrendo, A., Sawczuk, M., Leźnickanicka, K., Contrò, V., Trybek, G., & Lulińska-Kuklik, E. (2016). Variation in the Ace Gene in Elite Polish Football Players. *Human Movement, 17*(4), 237–241. <https://doi.org/10.1515/humo-2016-0032>
- Clos, E., Pruna, R., Lundblad, M., Artells, R., & Esquirol Causa, J. (2019). ACTN3 single nucleotide polymorphism is associated with non-contact musculoskeletal soft-tissue injury incidence in elite professional football players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 27*(12), 4055–4061. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05381-x>
- Clos, E., Pruna, R., Lundblad, M., Artells, R., & Maffulli, N. (2021). ACTN3 's R577X Single Nucleotide Polymorphism Allele Distribution Differs Significantly in Professional Football Players according to Their Field Position. *Medical Principles and Practice, 30*(1), 92–97. <https://doi.org/10.1159/000509089>
- Coelho, D. B., Pimenta, E., Rosse, I. C., Veneroso, C., Pussieldi, G., Becker, L. K., Carvalho, M. R., & Silami-Garcia, E. (2016). Angiotensin-converting enzyme (ACE-I/D) polymorphism frequency in Brazilian soccer players. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism, 41*(6), 692–694. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0514>
- Dionísio, T. J., Thiengo, C. R., Brozoski, D. T., Dionísio, E. J., Talamoni, G. A., Silva, R. B., Garlet, G. P., Santos, C. F., & Amaral, S. L. (2017). The influence of genetic polymorphisms on performance and cardiac and hemodynamic parameters among Brazilian soccer players. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism, 42*(6), 596–604. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0608>
- Egorova, E. S., Borisova, A. v., Mustafina, L. J., Arkhipova, A. A., Gabbasov, R. T., Druzhevskaya, A. M., Astratenkova, I. v., & Ahmetov, I. I. (2014). The polygenic profile of Russian football players. *Journal of Sports Sciences, 32*(13), 1286–1293. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.898853>
- Gineviciene, V., Jakaitiene, A., Tubelis, L., & Kucinskas, V. (2014). Variation in the ACE, PPARGC1A and PPARA genes in Lithuanian football players. *European Journal of Sport Science, 14*(SUPPL.1). <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.691117>
- Jeremic, D., Macuzic, I. Z., Vulovic, M., Stevanovic, J., Radovanovic, D., Varjadic, V., & Djordjevic, D. (2019). ACE/ACTN3 genetic polymorphisms and athletic

- performance of female soccer players. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 25, 35–39.
- Koku, F. E., Karamızrak, S. O., Çiftçi, A. S., Taşlıdere, H., Durmaz, B., & Çoğulu, Ö. (2019). The relationship between ACTN3 R577X gene polymorphism and physical performance in amateur soccer players and sedentary individuals. *Biology of Sport*, 36(1), 9–16. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.78900>
- la Montagna, R., Canonico, R., Alfano, L., Bucci, E., Boffo, S., Staiano, L., Fulco, B., D'Andrea, E., de Nicola, A., Maiorano, P., D'Angelo, C., Chirico, A., de Nicola, A., & Giordano, A. (2020). Genomic analysis reveals association of specific SNPs with athletic performance and susceptibility to injuries in professional soccer players. *Journal of Cellular Physiology*, 235(3), 2139–2148. <https://doi.org/10.1002/jcp.29118>
- McCabe, K., & Collins, C. (2018). Can genetics predict sports injury? The association of the genes *gdf5*, *ampd1*, *col5a1* and *igf2* on soccer player injury occurrence. *Sports*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/sports6010021>
- Meckel, Y., Eliakim, A., Nemet, D., Levin, N., & Ben-Zaken, S. (2020). PPAR $\alpha$  CC and ACTN3 RR genotype prevalence among elite soccer players. *Science and Medicine in Football*, 4(2), 156–161. <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1677936>
- Mohd Fazli, N. E., Raja Azidin, R. M. F., Teh, L. K., & Salleh, M. Z. (2022). Correlations between sports-related polygenic profiles, postural stability, power and strength performances of elite football players. *Sport Sciences for Health*, 18(1), 147–154. <https://doi.org/10.1007/s11332-021-00786-z>
- Paoli, A., Proia, P., Schiera, G., Saldino, P., Traina, M., Palma, A., Contro, V., Carmazza, G., Bianco, A., & Grimaldi, K. (2014). PPAR $\alpha$  gene variants as predicted performance-enhancing polymorphisms in professional Italian soccer players. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 273. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s68333>
- Petr, M., Thiel, D., Kateřina, K., Brož, P., Malý, T., Zahálka, F., Vostatková, P., Wilk, M., Chyckí, J., & Stastný, P. (2022). Speed and power-related gene polymorphisms associated with playing position in elite soccer players. *Biology of Sport*, 39(2), 355–366. <https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.105333>
- Pimenta, E. M., Coelho, D. B., Cruz, I. R., Morandi, R. F., Veneroso, C. E., de Azambuja Pussieldi, G., Carvalho, M. R. S., Silami-Garcia, E., & de Paz

- Fernández, J. A. (2012). The ACTN3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1495–1503. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2109-7>
- Solari, A. J. (2011). *Genética humana: fundamentos y aplicaciones en medicina*. Ed. Médica Panamericana.
- Ulucan, K., Sercan, C., & Biyikli, T. (2015). Distribution of angiotensin-1 converting enzyme insertion/deletion and  $\alpha$ -actinin-3 codon 577 polymorphisms in Turkish male soccer players. *Genetics and Epigenetics*, 1(7), 1–4. <https://doi.org/10.4137/GEG.S31479>
- Wei, Q. (2021). The ACE and ACTN3 polymorphisms in female soccer athletes. *Genes and Environment*, 43(1). <https://doi.org/10.1186/s41021-021-00177-3>