

**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA FUERZA  
MEDIANTE MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN NO  
LINEAL PARA INCORPORAR NUEVAS  
HERRAMIENTAS DE CONTROL DE LA CARGA Y LA  
FATIGA MUSCULAR**



**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

**Alumno: Guillermo González Alcaraz**

**Tutora: Carla Caballero Sánchez**

# ÍNDICE

MARCO TEÓRICO.....	3
METODO .....	5
Participantes .....	5
Instrumentación .....	5
Entrenamiento de fuerza .....	5
Procedimiento de medida .....	6
PROCESAMIENTO DE DATOS .....	7
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	7
BIBLIOGRAFIA.....	9
ANEXO 1 .....	12
ANEXO 2 .....	14



## MARCO TEÓRICO

Según Mujika (2006), la cuantificación del entrenamiento es primordial para evaluar las respuestas a las cargas de trabajo y establecer una relación entre el entrenamiento y el rendimiento conseguido. Por lo tanto, la cuantificación de la carga de entrenamiento es una herramienta muy utilizada por preparadores físicos y entrenadores que buscan la optimización del rendimiento deportivo, ya que permite definir objetivos y controlar la evolución de los jugadores (Hernández, Casamichana, y Sánchez-Sánchez, 2017).

Entre las herramientas para cuantificar la carga de entrenamiento o/y la fatiga que se han venido utilizado, destacan los cuestionarios retrospectivos, los diarios, la observación directa y la monitorización fisiológica basada generalmente en la determinación del consumo de oxígeno, la frecuencia cardíaca y la concentración de lactato sanguíneo. Además, artículos más recientes comienzan a utilizar también la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (Saboul, Balducci, Millet, Pialoux y Hautier, 2015).

Entre los métodos utilizados para la medición de parámetros mecánicos destaca la valoración de la velocidad, que requiere de condiciones ambientales estables, y la medición de la potencia, facilitada por recientes avances tecnológicos, como el sistema Schoberer Rad Messtechnik (SRM) en ciclismo. Se trata de un método que nos permite medir la potencia (W), monitorizándola a través de sistemas que permiten una medición continua de la potencia generada, asociando una determinada intensidad (W) a unas respuestas fisiológicas (Jobson et al. 2009).

Por otro lado, también podemos encontrar métodos de cuantificación subjetivos, entre los que destaca, por su amplia utilización, la escala RPE (del inglés *Rate of Perceived Exertion*) de Borg (Mujika, 2006).

Aunque lo ideal en el trabajo del entrenamiento deportivo sería tener a nuestra disposición todo el equipamiento de última generación que deseáramos, la realidad es muy diferente. La mayoría de los métodos de cuantificación de la carga de entrenamiento comentados no están al alcance de la población general, ya que requieren de material específico y caro. Sin embargo, las escalas de percepción subjetiva y, concretamente, la RPE de Borg ha mostrado ser un indicador útil para medir el nivel de fatiga (Mallol, 2015), se administra con gran rapidez y tiene un bajo coste, convirtiéndola en una herramienta al alcance de cualquier profesional. Sin embargo, encontramos que esta herramienta muestra algunas debilidades cuando se trata de

entrenamiento de fuerza, sobre todo en rangos de intensidad moderada tal y como dice Nucleiro (2008).

En esta misma línea, buscando variables que puedan cuantificar la carga de entrenamiento y/o la fatiga de una manera sencilla y accesible, nos encontramos también con una serie de estudios que están utilizando la variabilidad motora para valorar el nivel de fatiga muscular (Corbeil, 2003; Roerdink, M., Hlavackova, P., & Vuillerme, N., 2011). Centrándonos en el entrenamiento de fuerza, nos encontramos con recientes estudios que han relacionado variables ya constatadas para la detección de fatiga, como la velocidad media propulsiva (VMP) con variables que analizan la variabilidad del movimiento (Bastida et al., 2018). Concretamente en este estudio, los resultados indican que la VMP y la entropía aproximada (medida de la estructura de la variabilidad) siguen una misma tendencia durante la ejecución de media sentadilla dinámica, sugiriendo que esta medida de entropía puede ser un método válido para la cuantificación de la fatiga local y podría ayudar a comprender el complejo comportamiento muscular durante el entrenamiento de la fuerza. También encontramos que en otro estudio se utilizó un acelerómetro 3D para medir la variabilidad del tiempo de ejecución y del ROM en situación de fatiga muscular en los diferentes ejercicios de fuerza que se realizaron. Se observó que los ejercicios realizados en situación de fatiga se caracterizaron por una mayor variación media en la duración de las repeticiones y mayor variación del ROM (Brown, 2016).

Indicar que el aumento de la fatiga se ha asociado directamente con la carga de entrenamiento, tal como lo refleja Gabbett (2016). Es por ello, que, si se asocia esta variabilidad motora al nivel de fatiga muscular del deportista, que a su vez parece ser un indicador del nivel de carga interna del deportista, consideramos que la variabilidad del movimiento podría ser una herramienta útil dentro de la planificación deportiva.

El objetivo del presente estudio es comprobar si la variabilidad motora es una herramienta válida para indicar el nivel de la carga de entrenamiento que está soportando nuestro deportista, y que esté al alcance de cualquier profesional del entrenamiento deportivo. Además, buscamos que sea de administración rápida, sin largos protocolos, muy importante si, como es habitual, se tiene un tiempo limitado para hacer valoraciones.

# **METODO**

## **Participantes**

El presente estudio se realizó con dos grupos de jugadores de baloncesto. Los jugadores pertenecen al Club Baloncesto Beniel. Los dos grupos estaban conformados por 7 sujetos cada uno, un grupo de infantiles con edades de entre 13 y 14 años, y otro grupo de juniors con edades de entre 16 y 17 años.

Los grupos entrenaban 3 días a la semana: lunes, martes y jueves. Seguían un programa de entrenamiento específico de baloncesto y un entrenamiento básico en materia de condición física.

## **Instrumentación**

Para la medición de la variabilidad se usó la aplicación Physics Toolbox Sensor Suite (versión de 2022) que utiliza sensores internos de teléfonos inteligentes Android para recopilar, mostrar, registrar y exportar archivos de datos .csv. Además, se usó un cinturón donde se colocó el teléfono móvil durante la realización de los test. El cinturón se colocó en la parte posterior de la cadera, justo a la altura del sacro, tal y como lo realizan en estudios similares como el de Guillén-Rogel (2021), que comprobaba si existía relación entre la estabilidad central y el rendimiento en sentadillas con una sola pierna en mujeres activas.

## **Entrenamiento de fuerza**

Poniéndome de acuerdo con los entrenadores y preparadores físicos de los dos equipos, realicé un programa de entrenamiento de fuerza en tren inferior. El entrenamiento de fuerza fue orientado a la mejora de la altura de salto en un CMJ, ya que la literatura nos dice que tiene una transferencia directa a situaciones reales de juego, incluso a situaciones que no son de salto. Así lo dice Torres-Navarro, V. (2018), al observar que los resultados obtenidos en el SJ y en el CMJ eran predictores del rendimiento en la competición.

Uno de los ejercicios que se utilizó en mi plan de entrenamiento para la mejora del CMJ fue el de media sentadilla frontal, y fue éste el ejercicio de referencia que usé para mi estudio de la variabilidad.

El orden en el cual se ejecutaron los ejercicios en cada sesión de entrenamiento fue el siguiente: media sentadilla frontal - zancada - salto cargado - media sentadilla frontal - saltos al banco.

La dosificación de la carga para cada ejercicio con carga fue, para los juniors: de 3 series a modo de circuito, con 50 segundos de ejecución de cada ejercicio, 10 segundos de descanso entre cada ejercicio y 1 minuto de descanso entre cada serie. Los saltos se hicieron a un banco de 40 cm. Los saltos cargados se hicieron con un disco de 10 kg. Y para los infantiles: de 2 series a modo de circuito, con 45 segundos de ejecución de cada ejercicio, 15 segundos de descanso entre cada ejercicio y 1 minuto de descanso entre cada serie. Los saltos se hicieron a un banco de 30 cm. Los saltos cargados se hicieron con un disco de 5 kg. El entrenamiento completo se puede encontrar detallado en el Anexo 1.

Los participantes se encontraron en todo momento bajo la supervisión de un especialista en entrenamiento de fuerza que aseguraba la ejecución técnica correcta, minimizando el riesgo de lesión. El entrenamiento tuvo una frecuencia de 3 sesiones por semana: dos sesiones de entrenamiento de fuerza (martes y jueves) más una sesión de estiramientos específicos (lunes).

## **Procedimiento de medida**

Se hizo un registro con el acelerómetro en el ejercicio de media sentadilla frontal en isométrico antes y después de la sesión de fuerza, teniendo así nuestro pre-test y nuestro post-test. El registro se hizo con 35 segundos de ejecución del ejercicio. La organización fue por parejas, así se ayudaron mutuamente a realizar correctamente el procedimiento. Para señalar el momento en el que se empezaban a contar los 35 segundos del registro, el compañero de la pareja que no estaba realizando la sentadilla debía darle un pequeño golpe al móvil, generando así una gran onda en la gráfica de la aplicación que más adelante nos indicaría el inicio del registro (Anexo 2). Al final de cada sesión se pasaba la escala RPE.

Lo que buscábamos pasando el RPE era comparar los niveles de variabilidad motora con los valores de percepción subjetiva de esfuerzo usando un método que ya ha

confirmado su validez para medir el nivel de fatiga y la carga de entrenamiento. Si encontráramos una relación directamente proporcional en las mediciones de variabilidad motora y los resultados de la escala, podríamos aproximarnos al objetivo de encontrar una nueva herramienta para el control de la carga de entrenamiento usando este parámetro fisiológico, la variabilidad motora.

## **PROCESAMIENTO DE DATOS**

La variabilidad motora fue evaluada mediante la medición de la variabilidad de la aceleración en los ejes x, y, z y el módulo del sacro. Para ello se midió la magnitud de dicha variabilidad a través la desviación estándar (DT) y su estructura a través del DFA (Detrended Fluctuation Analysis). Esta última es una herramienta que analiza el rango de autocorrelación de una señal, examinando los valores de una serie temporal en distintas fases temporales para encontrar periodicidad dentro de la señal (Urban, 2015). Los datos fueron volcados a un ordenador y tratados a través de Excel.

De los 35 segundos que duró cada test, se seleccionaron los primeros 20 segundos. Debido a que las distintas grabaciones fueron tomadas con móviles diferentes, se interpoló la señal a 100 Hz. Tal y como ya han hecho autores como Van Hees (2013) en estudios similares, y una vez realizado el interpolado, se utilizó un filtrado de frecuencia de paso bajo de 0,2 Hz para eliminar el efecto de la gravedad en los ejes x, y, z. Tras realizar todo el tratamiento de la señal indicado, se obtuvieron la DT y el DFA.

Se utilizaron programas de software personalizados elaborados en Labview, 2011 (National Instruments, Texas) el tratamiento de las señales y la obtención de las variables.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Todos los análisis fueron hechos con el programa SPSS Statistics 28.0 (IBM, Nueva York). Para comprobar si las variables seguían una distribución normal, se utilizó el test Kolmogorov-Smirnov, con la corrección de Lilliefors. Los valores de significación se marcaron en todos los análisis en  $p < 0.05$ . Se realizó una Prueba T para muestras relacionadas (se trata de un mismo grupo) para comparar las variables de DT y DFA en el pre y el post de cada día. De esta manera se buscó si había diferencias significativas entre ambos test (pre y post) para así saber si las variables anteriormente mencionadas eran sensibles a la fatiga producida por el programa de entrenamiento (el nivel de fatiga

nos lo marcaba el RPE). Una vez que comprobamos si hay una respuesta en la DT y DFA cuando se produce fatiga, nos interesa saber cómo correlacionan los valores del RPE con los valores de dichas variables del post-test de cada día. Para ello se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson de modo que pudimos determinar si había relación entre los valores RPE y las variables DT y DFA en cada uno de los ejes y el módulo.





## BIBLIOGRAFIA

1. Brown, N., Bichler, S., Fiedler, M., y Alt, W. (2016). Fatigue detection in strength training using three-dimensional accelerometry and principal component analysis. *Sports biomechanics*, 15(2), 139-150.
2. Campos, M. A., y Toscano, F. J. (2014). Monitorización de la carga de entrenamiento, la condición física, la fatiga y el rendimiento durante el microciclo competitivo en fútbol. *Futbol. Revista de Preparación Física en el Fútbol*, 12, 23-36.
3. Corbeil, P., Blouin, J. S., Bégin, F., Nougier, V., y Teasdale, N. (2003). Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. *Gait & posture*, 18(2), 92-100.
4. Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F. M., y Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International journal of sports medicine*, 27(06), 483-492.
5. Urban, T. (2015). *Análisis de la variabilidad de un patrón motor ante diferentes niveles de constreñimiento*. (Tesis de Doctorado, Universidad Miguel Hernández). RediUMH.
6. Jobson, S. A., Passfield, L., Atkinson, G., Barton, G., y Scarf, P. (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports medicine*, 39(10), 833-844.
7. Mujika, I. (2006). Métodos de cuantificación de las cargas de entrenamiento y competición. *La revista universitaria de la educación física y el deporte Kronos*, 5, 1-10.
8. Reina, M., Mancha-Triguero, D., García-Santos, D., García-Rubio, J., y Ibáñez, S. J. (2019). Comparación de tres métodos de cuantificación de la carga de entrenamiento en baloncesto. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 15(58), 368-382.

9. Roerdink, M., Hlavackova, P., y Vuillerme, N. (2011). Effects of plantar-flexor muscle fatigue on the magnitude and regularity of center-of-pressure fluctuations. *Experimental brain research*, 212(3), 471-476.
10. Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., y Hautier, C. (2016). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European journal of sport science*, 16(2), 172-181.
11. Caballero, C., Barbado, F. D., y Hernández, F. J. (2014). Non-linear tools and methodological concerns measuring human movement variability: an overview. *European Journal of Human Movement*, (32), 61-81.
12. Stergiou, N., Yu, Y., y Kyvelidou, A. (2013). A Perspective on Human Movement Variability With Applications in Infancy Motor Development. *Human Kinetics*, 2(1), 93-102.
13. Torres-Navarro, V., y Escrivá-Sellés, R. (2018). El test de salto como valoración de la potencia de piernas en futbolistas jóvenes. *Revista de Preparación Física en el Fútbol*, 1-11.
14. Rosales, W., Cofré, C., Alejandra, C., Bertona, C., Vizcaya, A., González, J., Bajuk, J., y Rodríguez, M. (2016). Validación de la escala de Borg en personas con diabetes mellitus tipo 2. *Revista médica de Chile*, 144(9), 1159-1163.
15. Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine* 50(5), 273-280.
16. Sabido, R., Muelas, R., Barbado, F. D., y Hernández, F. J. (2009). Análisis de la variabilidad de parámetros cinemáticos durante la ejecución de una sucesión de piruetas en danza a través de un protocolo automatizado. *European Journal of Human Movement*, (23), 15-40.
17. Tapia, A. (2017). Propuesta de control de la carga de entrenamiento y la fatiga en equipos sin medios económicos. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, (417), pág-55.

18. Guillén-Rogel, P., Barbado, F. D., Franco-Escudero, C., San Emeterio, C., y Marín, P. J. (2021). ¿Están relacionadas las pruebas de estabilidad central con el rendimiento en sentadillas con una sola pierna en mujeres activas? *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 18(11), 5548.

19. Mallol, M., Cámara, J., Calleja-González, J., Yanci, J., y Mejuto, G. (2015). El triatlón y el control de la carga mediante la percepción del esfuerzo. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 32(167), 164-168.

20. Bastida, A., Gómez, C. D., y Pino, J. (2017). Relationship Between Aproximate Entropy and Mean Propulsive Velocity Loss During Half Squat Exercise. *Revista Kronos*, 16(2).

21. Van Hees, V. T., Gorzelniak, L., Dean León, E. C., Eder, M., Pias, M., Taherian, S., Ekelund, U., Frida Renström, Franks, W. P., Alexander Horsch, A., y Brage, S. (2013). Separating movement and gravity components in an acceleration signal and implications for the assessment of human daily physical activity. *PLoS one*, 8(4), e61691.

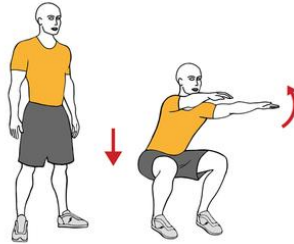
22. Naclerio, F., Barriopedro, M. I., y Rodríguez, G. (2008). Control de la intensidad de los entrenamientos de fuerza por medio de la percepción subjetiva de esfuerzo. En *II Congreso internacional de ciencias de la actividad física y el deporte*.

Londres. Memoria Investigación. Recuperado de <http://www.revistakronos.com/congresodeporte/>.

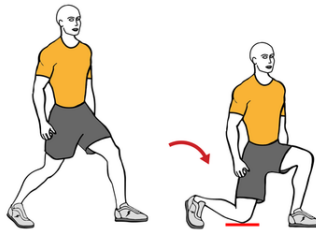
# ANEXO 1

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA

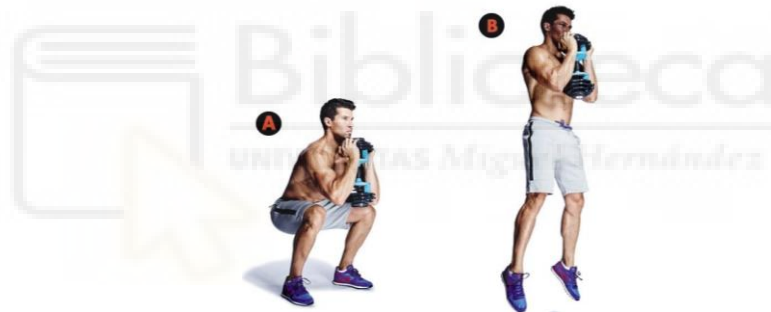
### 1- MEDIA SENTADILLA FRONTAL DINAMICA



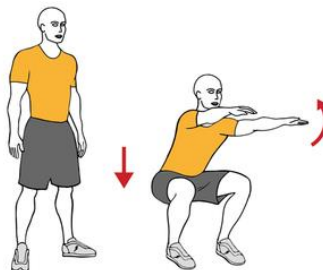
### 2- ZANCADA



### 3- SALTO CARGADO



### 4- MEDIA SENTADILLA FRONTAL DINAMICA



### 5- SALTOS AL BANCO



- **Dosificación de la carga para los JUNIORS:** 3 series de 8 repeticiones con 40 segundos de recuperación entre series. Y en los saltos al banco se realizaron 3 series de 20 repeticiones, con 40 segundos de recuperación entre series. Los saltos se harán sobre un banco de 40 cm.
- **Dosificación de la carga para los INFANTILES:** 2 series de 8 repeticiones con 40 segundos de recuperación entre series. Y en los saltos al banco se realizaron 2 series de 20 repeticiones, con 40 segundos de recuperación entre series. Los saltos se harán sobre un banco de 30 cm.

(El nivel de carga de las sesiones de fuerza puede cambiar si el entrenador lo considera necesario).

*IMPORTANTE: No será revelado ningún dato personal de ningún jugador en el estudio. El entrenador será la única persona con acceso a la información personal que revelarán: su correo electrónico y su nombre. En el estudio se presentarán todos los datos de manera anónima.*

## ANEXO 2

# PROTOCOLO PARA EL REGISTRO DE LA VARIABILIDAD MOTORA

El objetivo del presente estudio es encontrar una herramienta de control y valoración objetiva de un parámetro fisiológico (variabilidad motora) que nos indique el nivel de carga de entrenamiento que está soportando nuestro deportista.

A continuación, se van a detallar las instrucciones que se deberán seguir para el correcto registro y almacenamiento de los datos obtenidos sobre vuestra variabilidad motora. El procedimiento general será el siguiente:

- 1- **Registro de un pre-test.** El ejercicio sobre el que se hará el registro será una repetición de 30 segundos de media sentadilla isométrica (manteniendo la posición).
- 2- **Entrenamiento de fuerza (Anexo).** Se realizarán todos los ejercicios abajo indicados y en el orden en el que se mencionan.
- 3- **Registro de un post-test.** El ejercicio sobre el que se hará el registro será una repetición de 30 segundos de media sentadilla isométrica (manteniendo la posición).

Pasos a seguir para la realización del registro:

- 1- Descargar la aplicación “Physics Toolbox Sensor Suite” desde Google Play (Android) o desde App Store (Iphone).



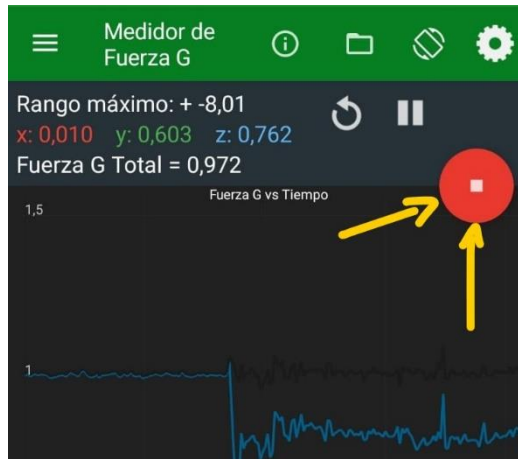
- 2- Nos dividimos por parejas.
- 3- Abrimos la aplicación y le damos a empezar a grabar (símbolo +).



- 4- Introducimos el móvil en el cinturón (será proporcionado por el entrenador).
- 5- Nos ponemos el cinturón en la cintura con la ayuda de un compañero. Colocaremos el móvil en la parte trasera a la altura del hueso sacro.
- 6- Nos colocaremos en posición de media sentadilla isométrica con los brazos estirados hacia delante con un ángulo de  $90^{\circ}$  en la articulación de la cadera y la rodilla.



- 7- Cuando estemos correctamente colocados, el compañero le dará un golpe al móvil para provocar una honda grande que indique el principio del ejercicio. A partir de este momento se empiezan a contar 35 segundos de ejecución.
- 8- Justo cuando transcurran 35 segundos el compañero volverá a golpear el móvil para crear otra gran honda que indique el fin del registro.
- 9- Nos quitamos el cinturón.
- 10- Sacamos el móvil del cinturón.
- 11- Le damos al botón cuadrado de detener grabación.

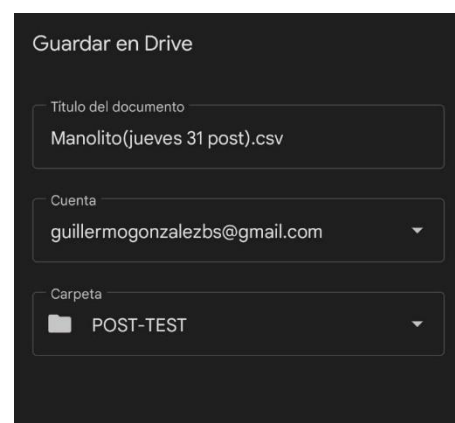


12- Nombramos el archivo de la siguiente manera: *Nombre del jugador(día numero pre/post)*. De tal manera que si fuera el registro post-test del día jueves 31 de marzo el nombre del archivo sería: Manolito(jueves 31 post).



13- Pulsáis la tecla "OK".

14- Pulsáis enviar por Drive y navegáis por las carpetas siguiendo la siguiente ruta: Variabilidad Motora Guillermo-Infantil o Junior-Pretest o Postest. Así seleccionamos la carpeta donde guardaremos el archivo.





**15-** Pulsáis la tecla “Guardar” y aparecerá el siguiente mensaje que indica que se ha guardado correctamente.



**16-** Completo la Escala de Borg (RPE). El entrenador explicará este paso en el pabellón.

**17-** Repite todo el procedimiento el otro compañero.

**18-** IMPORTANTE QUE EL REGISTRO DE PRE-TEST Y POST-TEST SE REALICE CON EL MISMO TELEFONO MOVIL.

Ya que todos los archivos se guardarán en Drive, antes de poder acceder a la carpeta vuestro entrenador tendrá que daros acceso a ella. Por ese motivo deberéis mandarle por WhatsApp vuestra dirección de correo electrónico y él os enviará la invitación de acceso.