

**Resumen.** Las series de interlatido cardíaco o tacogramas se analizan en múltiples formas ya que reflejan la variabilidad cardíaca, un indicativo del estado de salud de las personas. En este trabajo se utilizan tres diferentes formas de cuantificar la entropía de estas series de tiempo: Entropía Aproximada (ApEn) [2], Entropía de Muestreo (SampEn) [2] y Entropía Difusa (FuzzyEn) [3] (por sus siglas en inglés) y se muestra que estas entropías pueden ser una buena medida de la variabilidad cardíaca. Para jóvenes y adultos se analizaron las series SG. Los registros Holter fueron tomados en un estado de reposo, seguidos por un periodo de actividad física moderada (caminata sobre caminadora comercial durante 30 minutos). Tomando en cuenta dos parámetros; la edad y la actividad física, según los resultados del cuestionario IPAQ (International Physical Activity Questionnaire). Los resultados sugieren que los tacogramas del grupo sedentario tienen valores altos de entropía en reposo y decrecen al realizar actividad física. Esto sucede tanto para jóvenes como adultos. Para las personas que hacen actividad física de manera regular, hay una tendencia a conservar los valores de entropía durante la actividad física, e inclusive aumentar. Al parecer la entropía pueden indicar si una persona tiene buena condición física o no.

**OBJETIVO**  
 Utilizar diferentes formas de cuantificar la entropía para el análisis de series de intervalo de tiempo RR obtenidos de electrocardiogramas, en reposo y durante la actividad física.

## 1 INTRODUCCIÓN

La variabilidad de la frecuencia cardíaca humana (HRV), es el resultado de la combinación de diferentes sistemas de control fisiológico, que operan en diferentes escalas temporales y que permiten el funcionamiento del cuerpo para adaptarse a los cambios físicos, ambientales o de otro tipo.

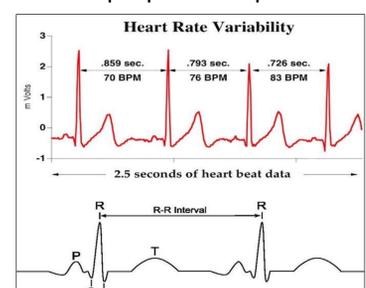
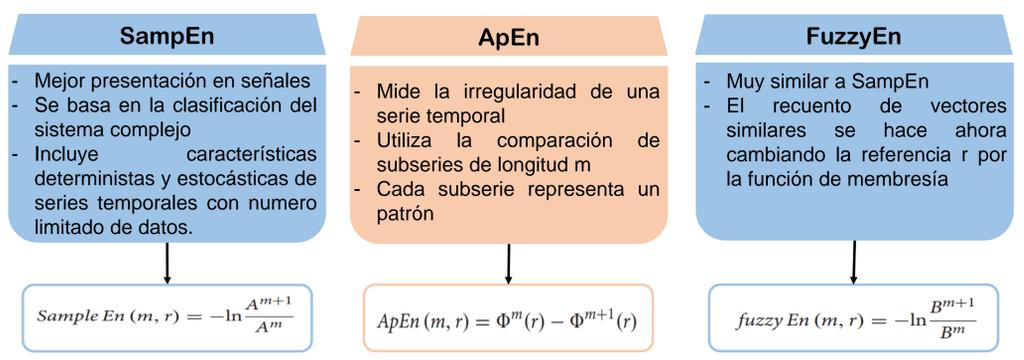


FIGURA 1. Ejemplo y partes una HRV.

Durante la investigación se localizaron los puntos R y calcularon los intervalos de tiempo de la serie RR o también llamados tacogramas. Los tacogramas son series de tiempo no lineales, no homogéneas y no estacionarias [1] el uso de métodos no lineales da la oportunidad de observar cambios en la variabilidad de la frecuencia cardíaca que no pueden ser observados por los métodos lineales.

El ejercicio puede provocar alteraciones cardiovasculares que no están presentes en reposo y, por lo tanto, pueden utilizarse como un medio para evaluar la función cardíaca. Utilizando las pruebas de esfuerzo (ST) que evalúan la respuesta del corazón a un ejercicio físico progresivo. La presencia de anomalías cardiovasculares puede manifestarse por alteraciones de los parámetros que se determinan en la prueba. El cuestionario IPAQ [4] es un instrumento especialmente diseñado para monitorear la actividad física en adultos.

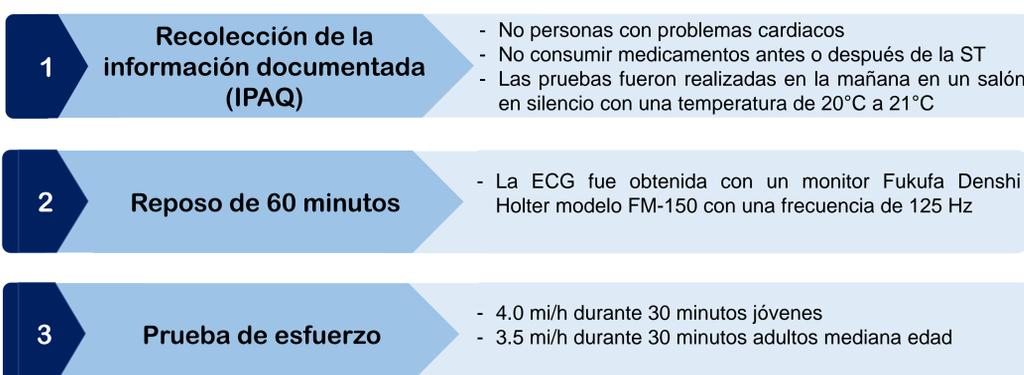
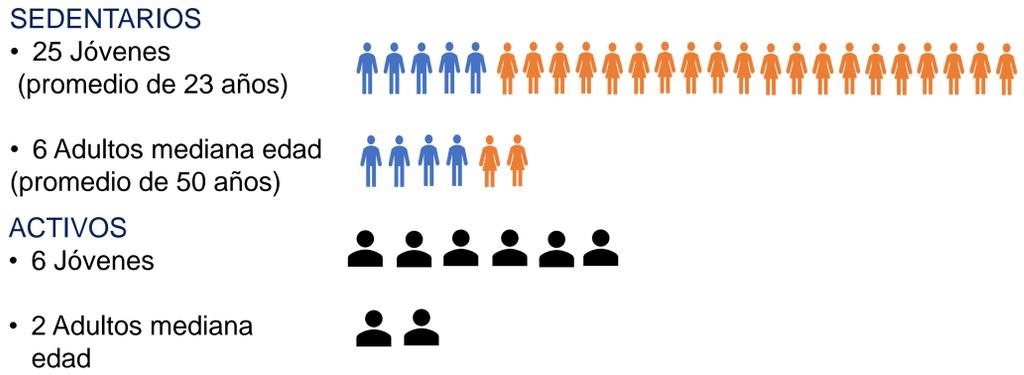
## 2 METODOLOGÍA



Se analizaron los tacogramas de 39 sujetos en reposo y en una prueba de esfuerzo. Tomando en cuenta los parámetros:



Las condiciones para las pruebas de esfuerzo fueron las mismas, pero para la mediana edad la velocidad de la prueba de esfuerzo fue de 3.5 millas por hora (mi/h) en cambio para los jóvenes de 4.0 mi/h.



## 3 RESULTADOS

Se demostró la reproducibilidad de los resultados. Los resultados de los valores de entropía comparados entre jóvenes y adultos sedentarios se muestran en la tabla 1. Podemos observar en la figura 2 que la diferencia entre los valores no es muy significativa.

Se muestra que los tacogramas del grupo de sedentarios tienen valores altos de entropía en reposo y tales valores decrecen de forma significativa cuando hacen actividad física.

	$\Delta SampEn$	$\Delta ApEn$	$\Delta FuzzyEn$
Jóvenes (25)	$-0.62 \pm 0.56$	$-0.47 \pm 0.43$	$-0.36 \pm 0.19$
Adultos mediana edad (5)	$-0.54 \pm 0.43$	$-0.3969 \pm 0.3680$	$-0.39 \pm 0.17$

TABLA 1. Valores de entropía obtenida por 3 diferentes métodos en personas sedentarias.

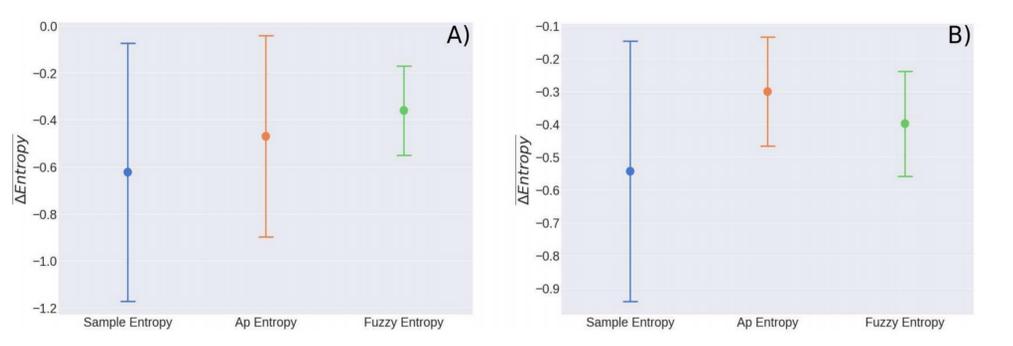


FIGURA 2. Valores de SampEn del reposo a la prueba de esfuerzo para (A) 25 jóvenes sedentarios y (B) seis adultos de edad mediana.

Comparando los resultados de entropía del grupo sedentario con el grupo de los activos obtenemos los resultados presentes en la tabla 2 donde observamos que en el caso de las personas activas los valores de entropía del reposo a la prueba de esfuerzo se mantienen o incluso crecen. De manera mas dinámica podemos observar en la figura 3 como es que actúan para los 3 diferentes métodos. Únicamente si se sube la velocidad de la prueba de esfuerzo se puede notar que en las personas activas la entropía comienza a disminuir, pero de manera mínima.

TABLA 2. Valores de entropía obtenidos por 3 diferentes métodos para personas sedentarias y activas.

	$\Delta SampEn$	$\Delta ApEn$	$\Delta FuzzyEn$
Sedentarios (30)	$-0.64 \pm 0.69$	$-0.51 \pm 0.47$	$-0.35 \pm 0.20$
Activos (8)	$0.17 \pm 0.07$	$0.07 \pm 0.09$	$-0.11 \pm 0.12$

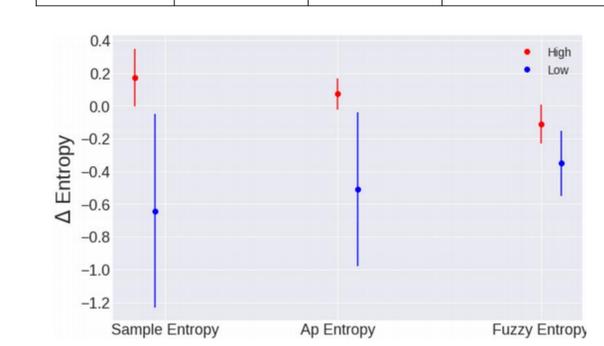
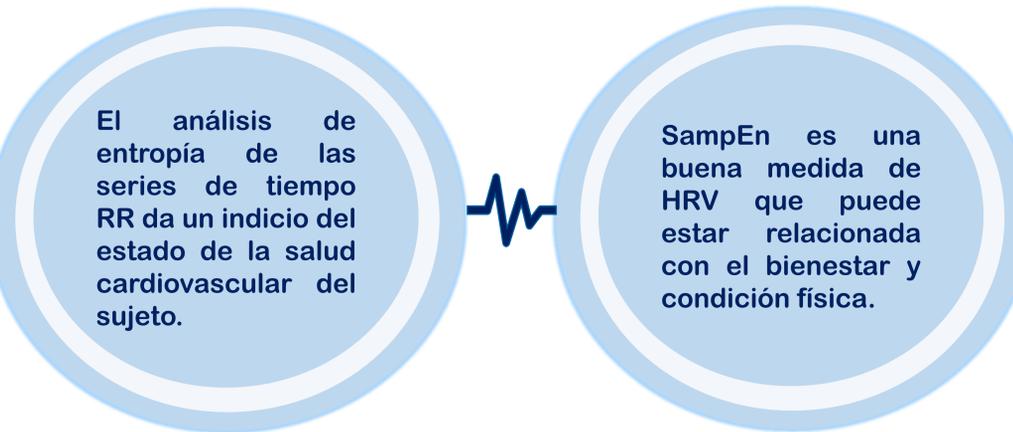


FIGURA 3. Comparación de las personas activas con las personas sedentarias utilizando 3 diferentes métodos de calculo de entropía.

## 4 CONCLUSIÓN



REFERENCIAS  
 [1] Sugihara, G., Allan, W., Sobel, D., and Allan, K. D. (1996). Nonlinear control of heart rate variability in human infants. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 93, 2608–2613. doi: 10.1073/pnas.93.6.2608.  
 [2] Richman, J. S., and Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 278, H2039–H2049. doi: 10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039.  
 [3] De Luca, A., and Termini, S. (1972). A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory. Inform. Control. 20, 301–312. doi: 10.1016/s0019-9958(72)90199-4.  
 [4] International Physical Activity Questionnaire [IPAQ] (2016). Available online at: https://sites.google.com/site/theipaq/questionnaire\_links (accessed October, 2019).