



Frecuencia de Operación de la Actividad Espontánea Registrada en la Médula Espinal del Gato

García Guerrero Reynel¹, Rodríguez Torres Erika Elizabeth², Castellanos Sánchez Claudio³, Hernández Gracida Carlos Arturo³, Rudomin Pablo⁴, Jiménez Estrada Ismael⁴

¹ Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, ² Centro de Investigación en Matemáticas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ³ División de Estudios de posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, ⁴ Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, CINVESTAV-IPN.



INTRODUCCIÓN

Se ha propuesto que los distintos registros electrofisiológicos (ECG, EMG o EEG) mantienen una distribución de energía similar entre sí, independientemente de la posición del electrodo que monitorea la actividad de un conjunto, relativamente grande o pequeño de células excitables.

El objetivo del presente estudio es el de establecer una frecuencia de captura de los registros electrofisiológicos que sea adecuada para el análisis de la actividad espontánea registrada en el dorso de la médula espinal del gato.

Los registros analizados fueron obtenidos con las frecuencias de muestreo 1.66 KHz, 5 KHz y 10 KHz, en experimentos separados. Nuestras observaciones muestran que las frecuencias de muestreo por encima de los 5 KHz y menores a 156 Hz, provocan una pérdida importante de información. Tomando como base el teorema de Nyquist, la frecuencia de captura debe ser al menos del doble de la frecuencia de operación.

Para determinar la frecuencia de operación de

1 Cambios en la sincronización segmental debido al corte de los nervios cutaneos y lesiones bilaterales espinales

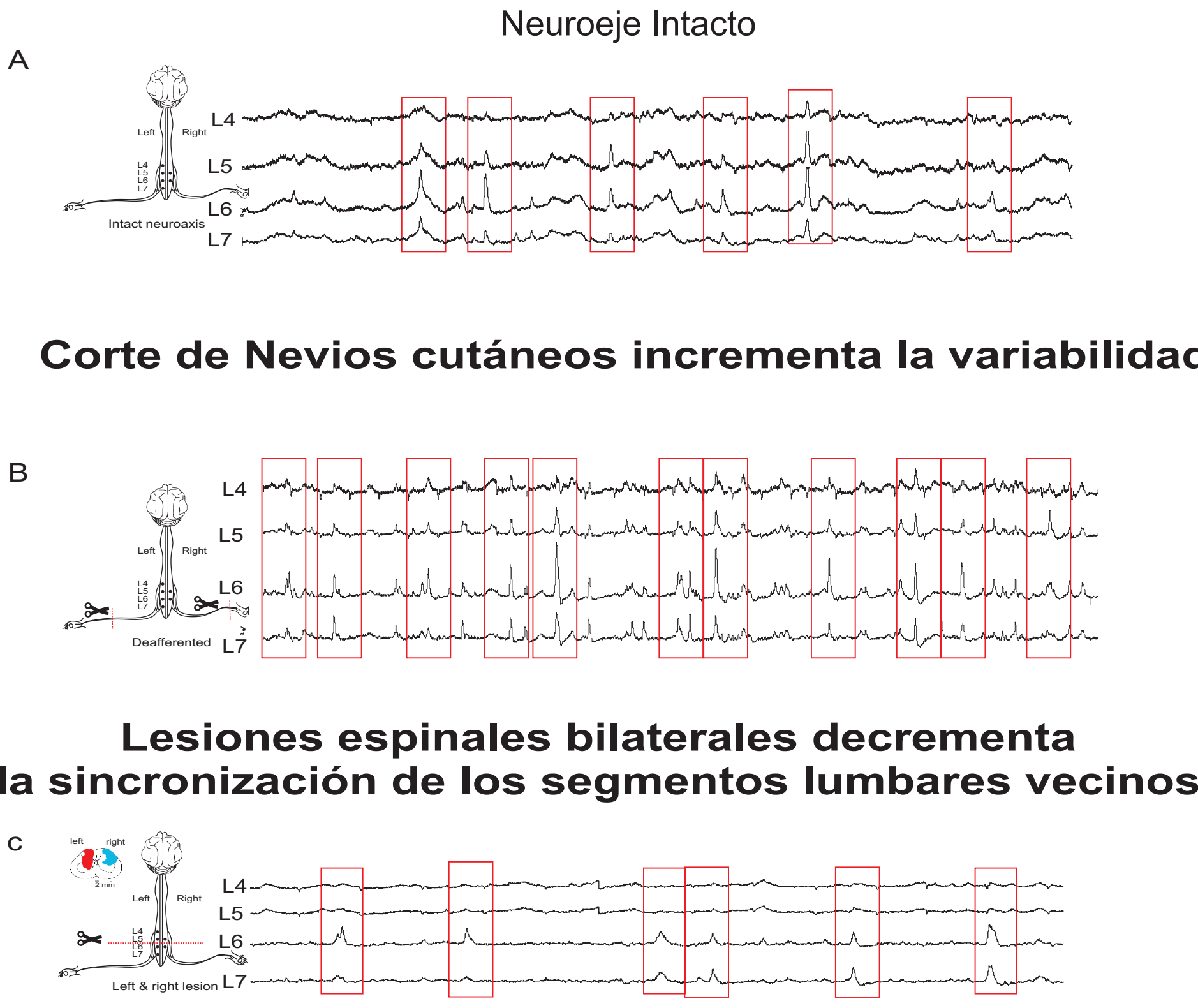


Figura Efecto de las lesiones en nervios y médula espinal del gato anestesiado. Registros de los segmentos lumbares de L4 a L7. **A.** Representación esquemática del sistema nervioso central (cerebro y médula espinal) la imagen ilustra la colocación de los electrodos de bola de plata entre L4 y L7: Se muestra el registro continuo de la actividad espontánea en el neuroeje y nervios periféricos intactos. En los recuadros se observan algunos de los CDPs espontáneos sincronizados, altamente correlacionados, y con mayor amplitud de los CDPs espontáneos de L5 y L6. **B.** Distribución similar a A. La sección aguda de los nervios sural (SU) y peroneo superficial (SP) incrementa la variabilidad y la sincronización intersegmental de la actividad espontánea. **C.** Misma distribución, lesiones bilaterales como lo ilustra el inserto. Reduce la sincronización intersegmental.

METODOS

Procedimientos Experimentales Generales

La actividad espontánea, fueron registrados mediante pares de electrodos de plata clorurada (de "bolita", con un diámetro de la punta de alrededor de 0.5 mm) colocados sobre el dorso de varios segmentos de la médula espinal (entre L3 y S1), mientras que los electrodos de referencia se colocaron sobre los músculos paravertebrales adyacentes. Cada par de electrodos, de registro y de referencia, fueron conectaron a preamplificadores AC. El número de electrodos fueron usualmente de 6 de acuerdo al protocolo de registro del experimento, y fueron colocados bilateralmente a lo largo de los segmentos lumbares L4 a L7, principalmente.

Análisis de fluctuaciones sin tendencia (DFA)

La metodología del DFA se describe a continuación: Se inicia con una serie de tiempo $x(i)$ para $i=1,2,...,N$. Después se integran los valores de esta serie de datos obteniendo una nueva serie de

$$y(k) = \sum_{i=1}^k (x(i) - \bar{x}) \quad (1)$$

donde $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)$ es el valor promedio de x .

El valor de la coordenada y de la línea recta se denota por $y_x(k)$. Nota 1. Para eliminar la tendencia de la serie de tiempo integrada $y(k)$, para cada ventana, se sustrae la tendencia local lineal $y_x(k)$. Para cada tamaño de ventana n , la escala característica para las fluctuaciones en la serie integrada y sin tendencia es $F(n)$ dada por:

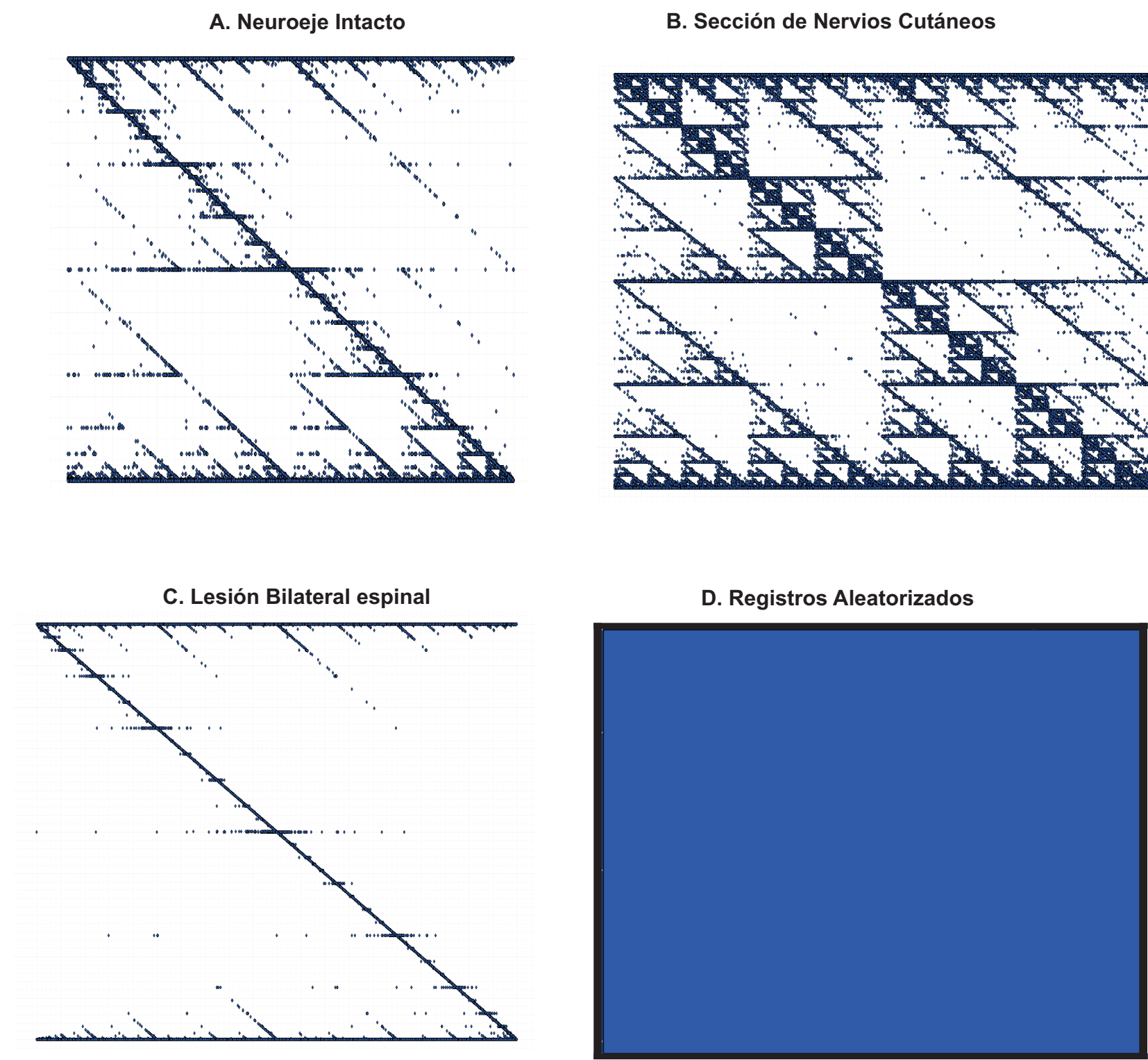
$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(k) - y_x(k))^2} \quad (2)$$

Este cálculo se repite en todas las escalas de tiempo (tamaños de cajas o ventanas ver figura) para proporcionar una relación entre $F(n)$ y ventana de tamaño n . La pendiente de la línea en relación $\log F(n)$ y $\log(n)$ determina el exponente de escalamiento o parámetro de auto-similitud α , tal como se señaló previamente. Matemáticamente, esto es:

$$F(n) \propto n^\alpha \quad (3)$$

Se puede aproximar como la pendiente de la línea relacionada $\log F(n)$ y $\log(n)$. Un valor α mayor que 0.5 indica la presencia de una correlación de largo alcance. Corresponde, 1, al ruido tipo $1/f$. Finalmente, el caso $0 < \alpha < 0.5$ denota la presencia de anticorrelaciones.

2 La estructura fractal de los potenciales registrados en el dorso de la médula espinal se incrementan después del corte de los nervios cutaneos y se reduce con la lesiones bilaterales espinales



Figuras fractales **A.** Neuroeje y nervios periféricos intactos. Se observan rombos de distintas escalas indicando la existencia de estructura funcional. **B.** Después de la sección de nervios cutáneos SP (peroneo superficial) y SU (sural principal) se observa un incremento en variabilidad en el aumento de rombos haciéndolo más denso. **C.** Lesión bilateral muestra una reducción en la cantidad de rombos a distintas

3 Los potenciales registrados sobre el dorso de la médula espinal no son aleatorios indicados por DFA

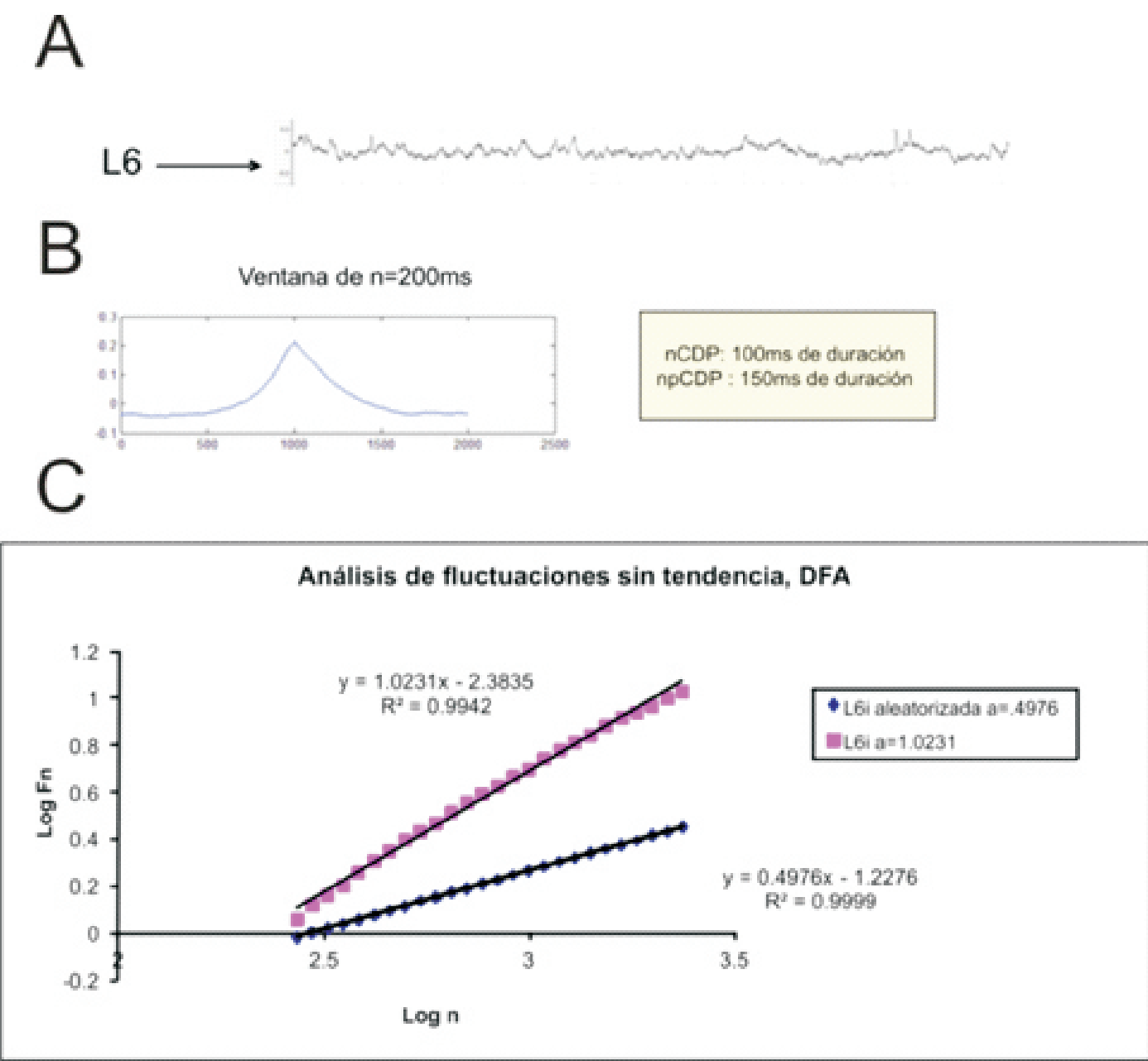


Figura. Análisis de actividad espontánea con base en su estructura fractal usando DFA. **A.** Registro continuo de la actividad espontánea en el dorso de la médula espinal del segmento L6. **B.** La estructura fractal se determinó en ventanas que tuvieran la duración de los potenciales espontáneos o CDPs, como se ilustra. **C.** Aplicación del análisis de fluctuaciones sin tendencia o DFA (por sus siglas en inglés). La pendiente obtenida para la actividad espontánea mostrada en A, es de $\alpha = 1.02$, indicando la presencia de una correlación de largo alcance en todo la señal, indicando que tiene una estructura

4 Formas de Ruido y diferencias en figuras fractales de distintos registros lumbares

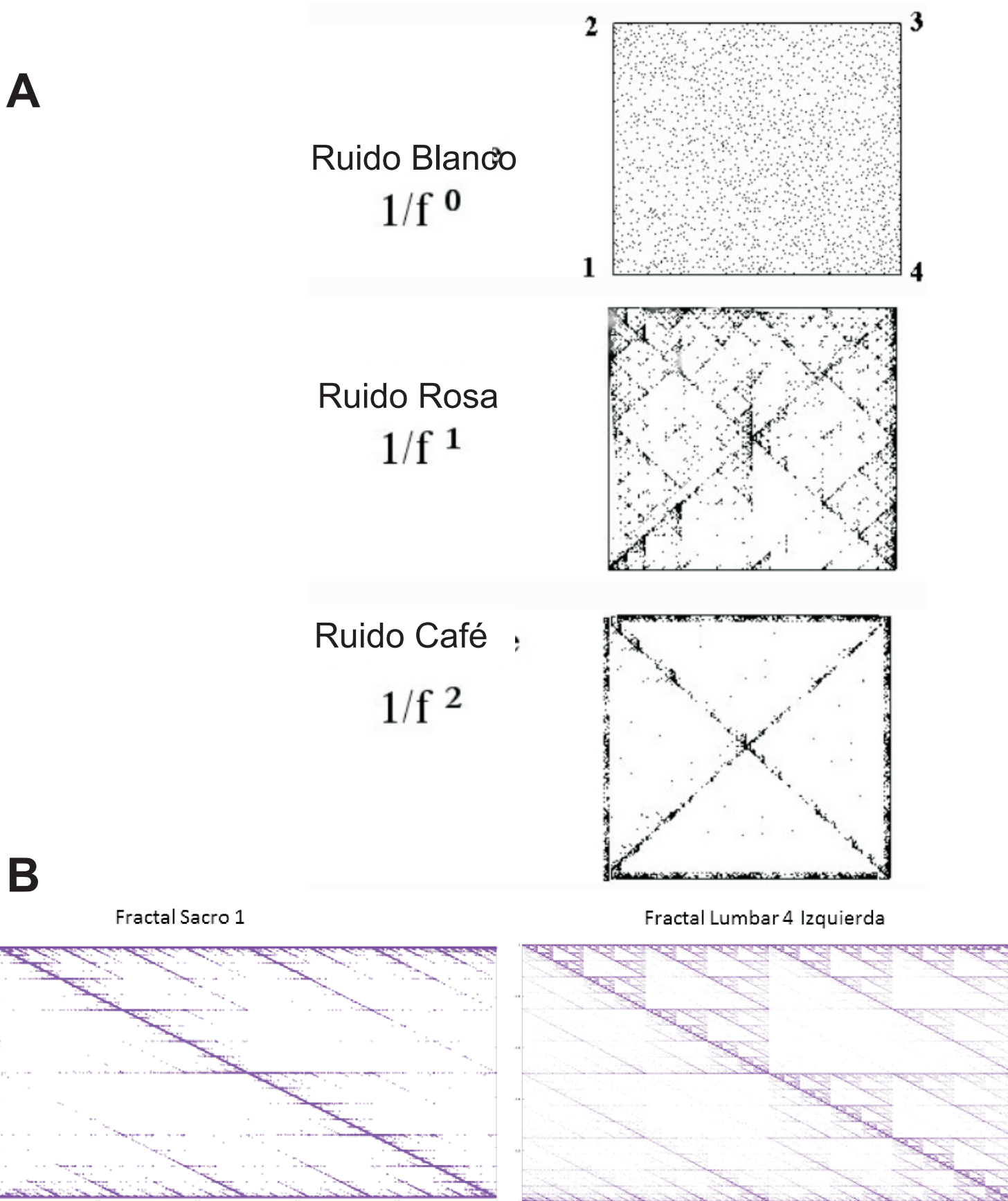


Figura A. Tipos de ruidos, ruido blanco similar $\alpha \approx 0.5$, el cual se obtiene en un registro aleatorio. Ruido rosa es el ruido, α cercano a 1 que se encuentra en registros electrofisiológicos. Ruido café, $\alpha \approx 1.5$. B. Figuras fractales de 2 distintos registros del dorso.

5 Figuras fractales de un mismo registro con distintas frecuencias de muestreo

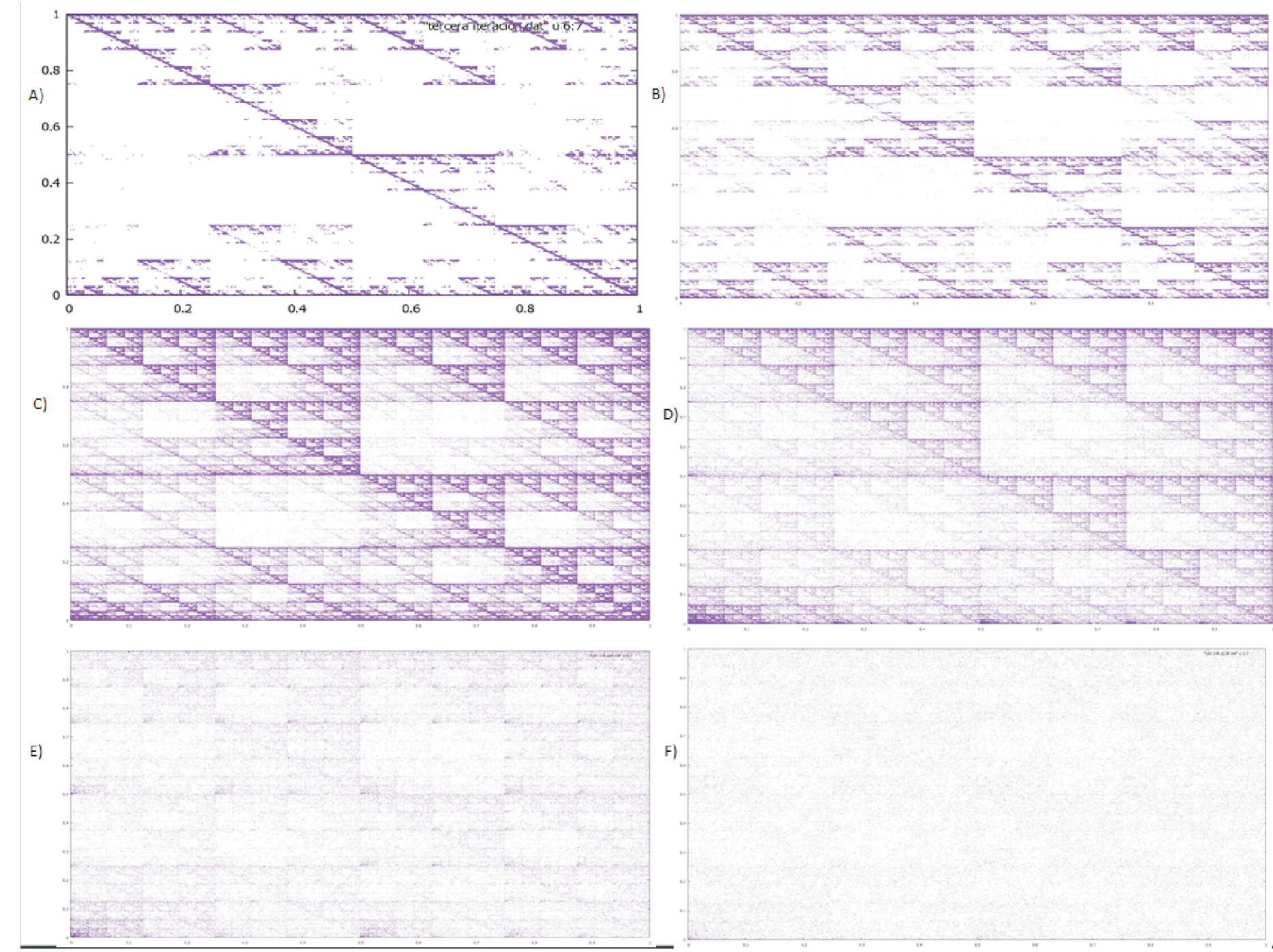


Figura Se muestran las diferencias entre los fractales a partir de un experimento capturado originalmente a 10 KHz. A). Fractal a 10 KHz. B). Fractal a 5 KHz. C). Fractal a 2.5 KHz. D). Fractal a 1.25 KHz. E). Fractal a 156.25 Hz. F). Fractal a 78.125 Hz.

6 Análisis de frecuencias de muestreo para el registro del segmento lumbar 5 sobre el dorso de la médula espinal

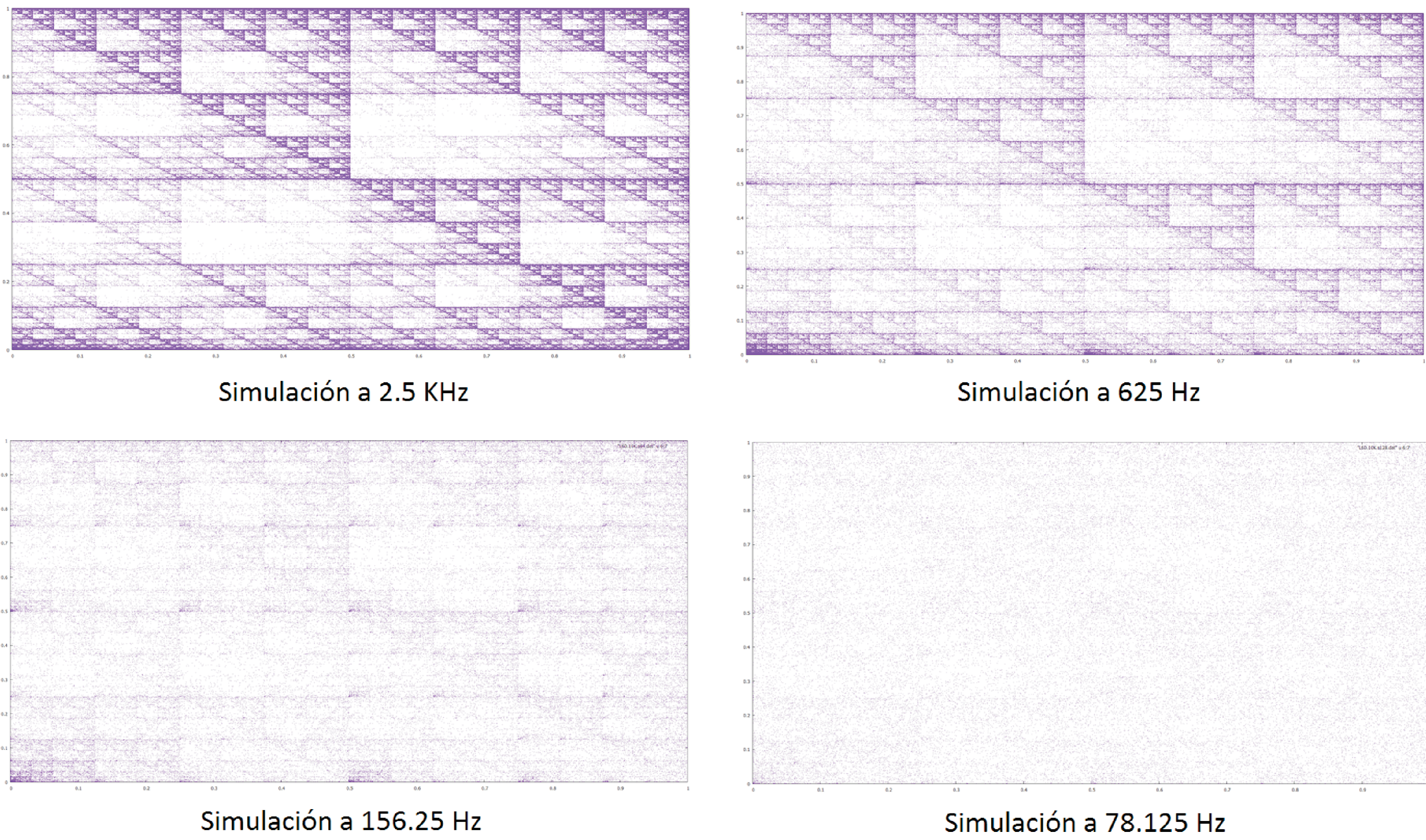


Figura Se muestra cuadro de dimensiones fractales de correspondientes a la Lumbar 5 Izquierda con frecuencias disminuidas artificialmente como se muestra en la figura anterior.

CONCLUSIONES

Con los resultados puede proponerse que las frecuencias del rango entre 550 a 1250Hz son las más adecuadas para la captura de la actividad de conglomerados neuronales registrados en el dorso de

Agradecimientos

Estudio apoyado parcialmente por: CONACyT 265483 beca posdoctoral a KLG, SNI a ERT, KLG e IJE, donativo PROMEP-1006 a ERT, Premio Sofia Kovalévskaya a ER.