



Decaimiento de muones como método robusto de calibración a largo plazo para Detectores Cherenkov de Agua

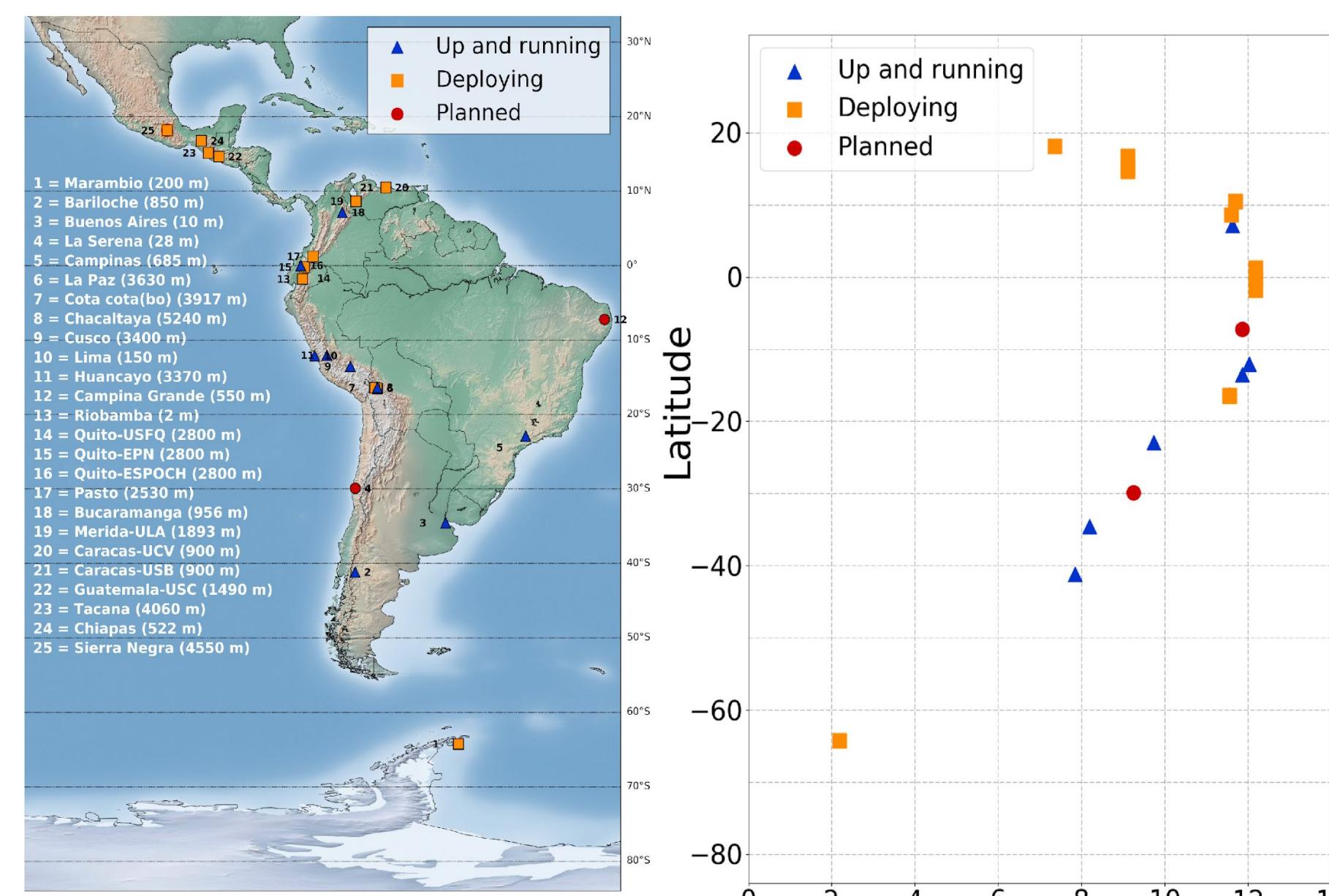
D. Quispe^{1,3}, L. Otiniano^{2,3}, H. Asorey⁵, C. Castromonte², PR. Yanyachi^{1,4}, R. Perca¹, for the LAGO Collaboration⁶

¹ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), ² Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), ³ Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA),

⁴ Instituto de Investigación Astronómico y Aeroespacial Pedro Paulet – UNSA, Arequipa, Perú, ⁵ piensas.xyz, ⁶ The LAGO Collaboration, see the complete list of authors and institutions at <https://lagoproject.net/collab.html>

Contacto de expositor: quispedavid987@gmail.com

1. Red de WCD de LAGO



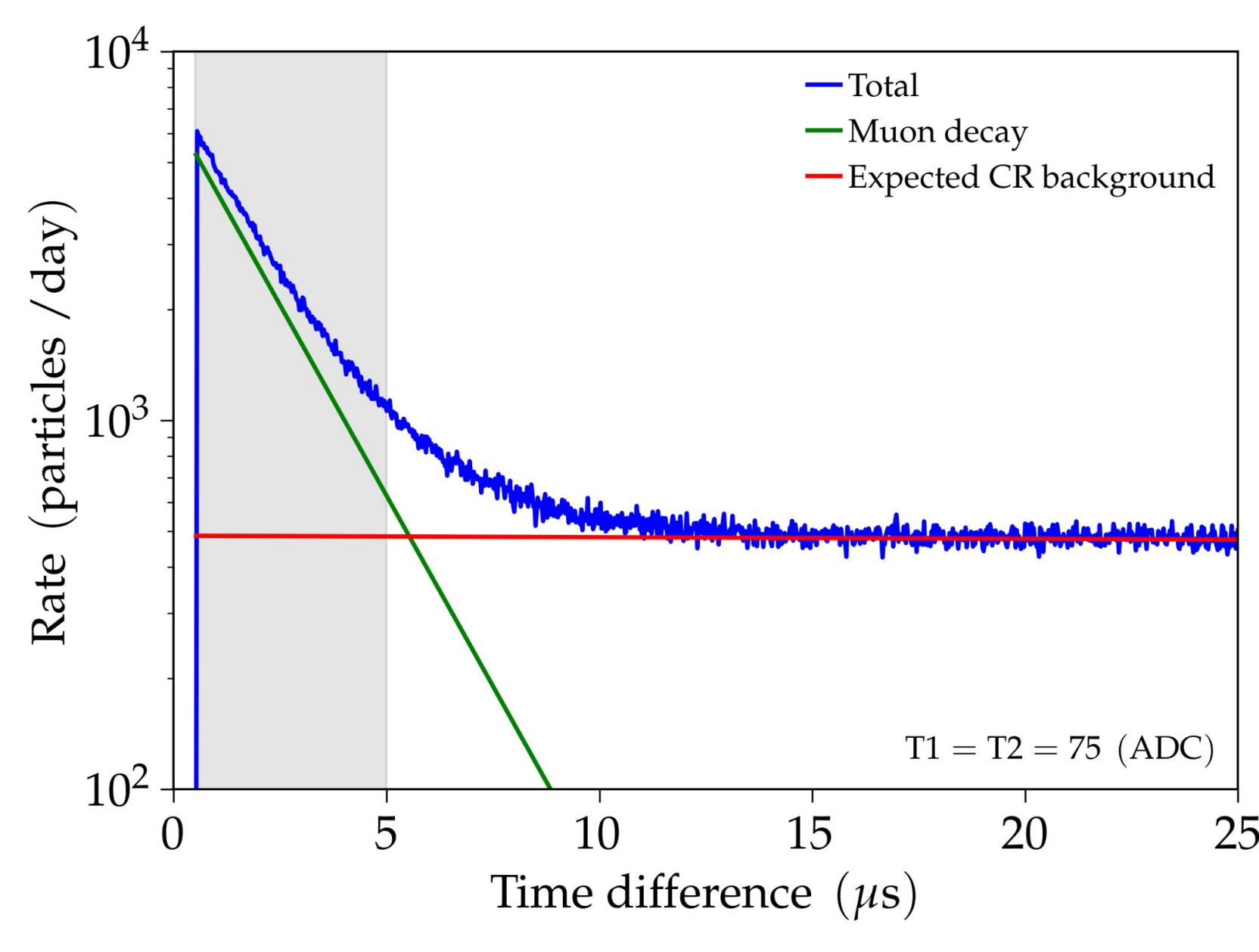
El observatorio LAGO (Latin American Giant Observatory) consiste en una red de Detectores Cherenkov de Agua (WCD por sus siglas en inglés). Cubriendo una gran variación de altitudes, condiciones geomagnéticas y geometrías de detector.



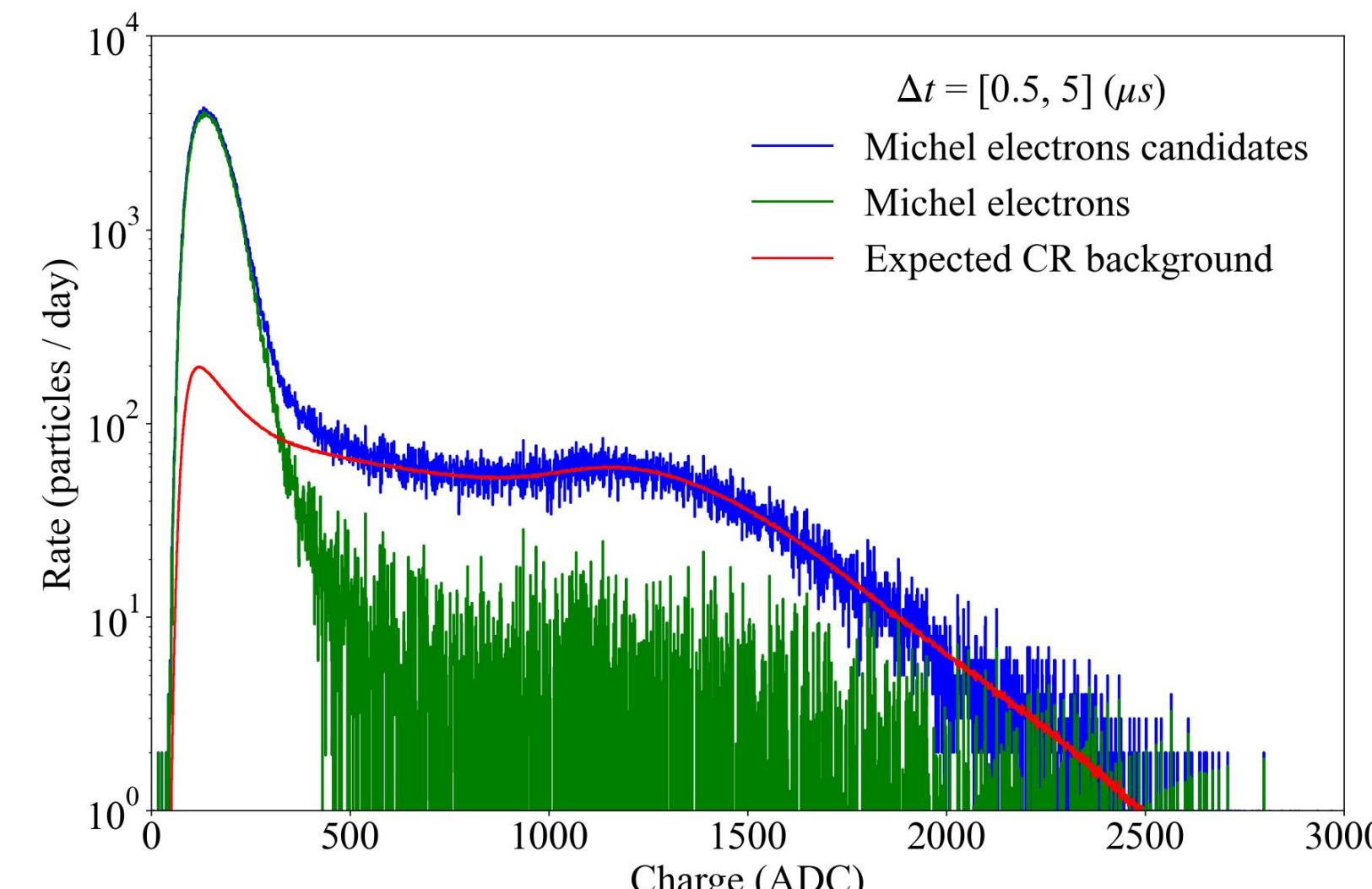
Dos WCD de la red LAGO: Izquierda, Nahuelito en Bariloche, Argentina. Centro, Characatito en Arequipa, Perú. Derecha, esquema del detector, la luz Cherenkov producida partículas secundarias de las EAS (Extensive Air Showers) en el volumen de agua pura del detector es medida por un PMT (Photomultiplier Tube) de 9" ubicado en la parte superior central.

2. Espectro de Michel y Muones

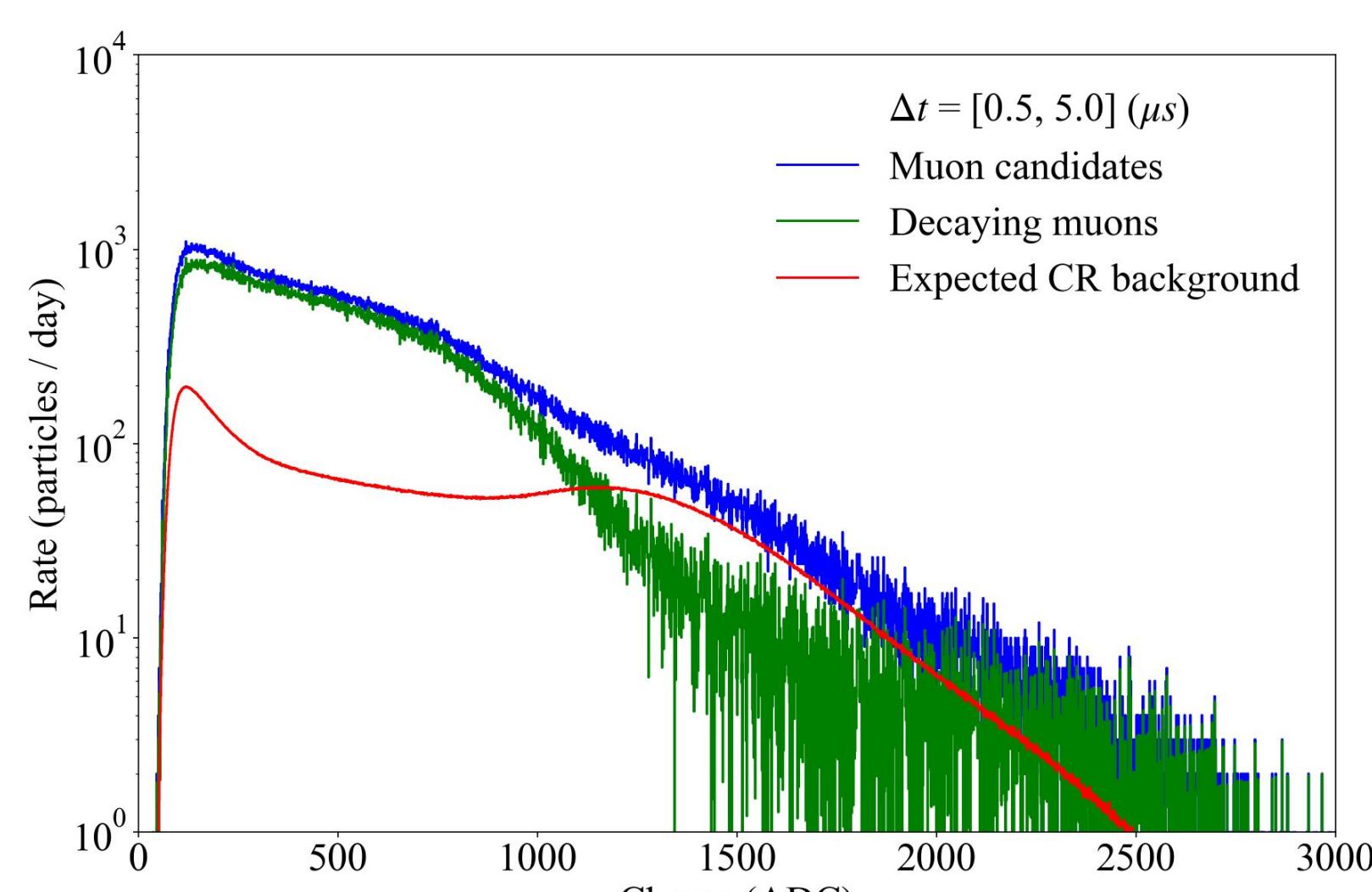
Los WCDs producen un pulso característico como señal del paso de partículas secundarias (SP por siglas en inglés) de la EAS a través del detector. Los muones atmosféricos de baja energía pueden decaer dentro del tanque. Estos muones decaen con un tiempo de vida media $\tau_{\mu} \sim 2.2 \mu s$ produciendo electrones de Michel con la suficiente energía para que generen sus propios pulsos detectables. Es posible estimar el espectro de electrones de Michel y el de sus muones padres que decaen usando la técnica siguiente (descrita para el tanque Nahuelito).



i) Ajuste en el **histograma de diferencias temporales** con dos exponentiales, una correspondiente al **fondo de rayos cósmicos** y el otro al **decaimiento de muones**. Así, estimamos el flujo de SP en una ventana de tiempo de 0.5 - 5 μs band.



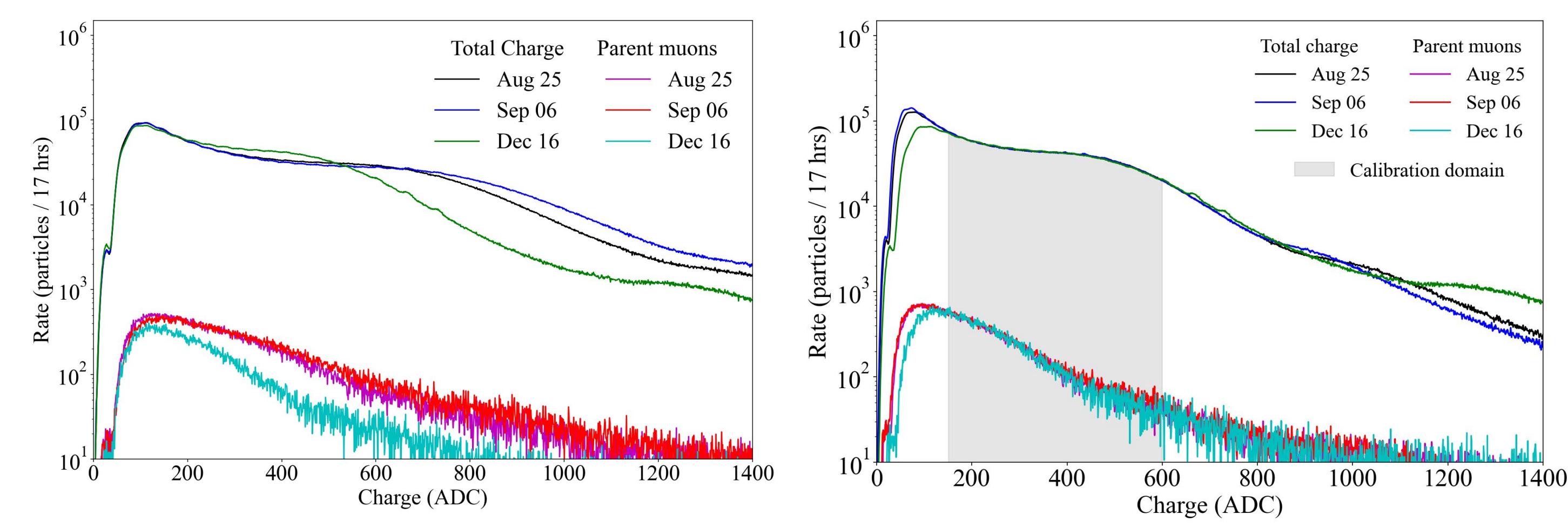
ii) El **espectro de carga de los electrones de Michel** se estima seleccionando los **segundos pulsos de dos pulsos consecutivos con una diferencia temporal entre 0.5 y 5 μs** , a este se les sustraen el **histograma de carga del flujo de SP**.



iii) El **espectro de carga de los muones padre** se estima seleccionando los **primeros pulsos de dos consecutivos con una diferencia temporal entre 0.5 y 5 μs** , y luego sustraendo el **histograma de carga esperado del flujo de SP**.

3. Método de calibración

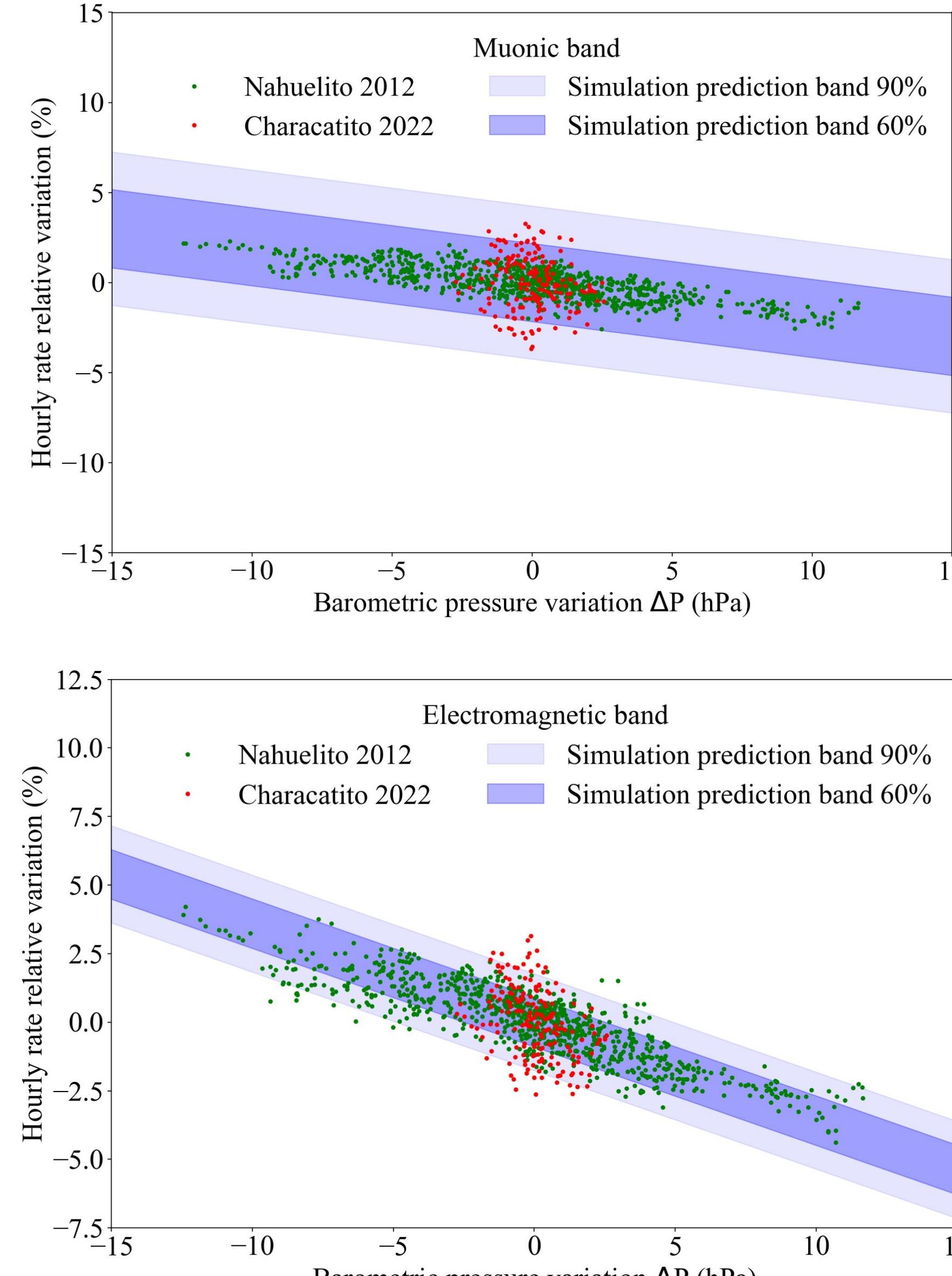
Durante grandes períodos de monitoreo (varios meses), observamos una compresión significativa en el espectro de carga de algunos WCDs en la red de LAGO. Esto es debido a la degradación del agua que altera la respuesta del detector y la estabilidad de calibración. Para lidiar con esto, desarrollamos un método de calibración basado en el espectro de carga de muones que decaen, el cual es independiente de la altitud y variaciones atmosféricas, es decir, **una calibración robusta e independiente..**



Histograma de cargas de Characatito antes (izquierda) y después (derecha) de aplicar el proceso de calibración de muones que decaen.

4. Prueba a largo plazo

Realizamos simulaciones de la respuesta de nuestro WCD a muones atmosféricos mediante la herramienta ARTI, de donde obtenemos el flujo esperado de partículas secundarias a nivel del detector. ARTI toma en cuenta efectos geomagnéticos, altitud, y condiciones atmosféricas locales, ofreciendo así una estimación precisa del flujo de SP a nivel del suelo; además, usa un modelo basado en Geant4 para estimar la respuesta de un WCD considerando diferentes geometrías, pureza del agua y demás características del detector.



Usando nuestro modelo simulado, establecemos dos diferentes **'bandas de predicción'** con niveles de confianza de 60% y 90% para la bien conocida anti correlación entre el flujo de SP y la presión atmosférica. Este análisis fue llevado a cabo, por separado, para las componentes muónica y electromagnética (e^+ , γ), esto dentro del rango de sensibilidad máxima al flujo para Characatito and Nahuelito.

5. Conclusiones

Hemos desarrollado una nueva metodología para la calibración a largo plazo en los Detectores Cherenkov de Agua de la red LAGO, esta metodología está basada en la determinación precisa del espectro de muones que decaen. Actualmente, este enfoque está siendo replicado en los distintos sitios de LAGO, incluyendo aquellos ubicados a grandes altitudes. Además, este análisis puede ser integrado a la adquisición de datos (DAQ) para un monitoreo continuo de eventos de decaimiento de muones, por lo que, esto permitirá una calibración robusta durante largos períodos de tiempo.