

Análisis espacio temporal de la variable vapor de agua atmosférico en estaciones GNSS de América

B. Peralta ¹; V.I. Babolene ¹; L.H. Peña ¹; M.V. Mackern ^{1,2,3}; P. Rosell ^{2,3}
M.F. Camisay ^{2,3}; M.L. Mateo ^{1,2}

1. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.
2. Facultad de Ingeniería y Enología, Universidad Juan Agustín Maza. Mendoza, Argentina
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

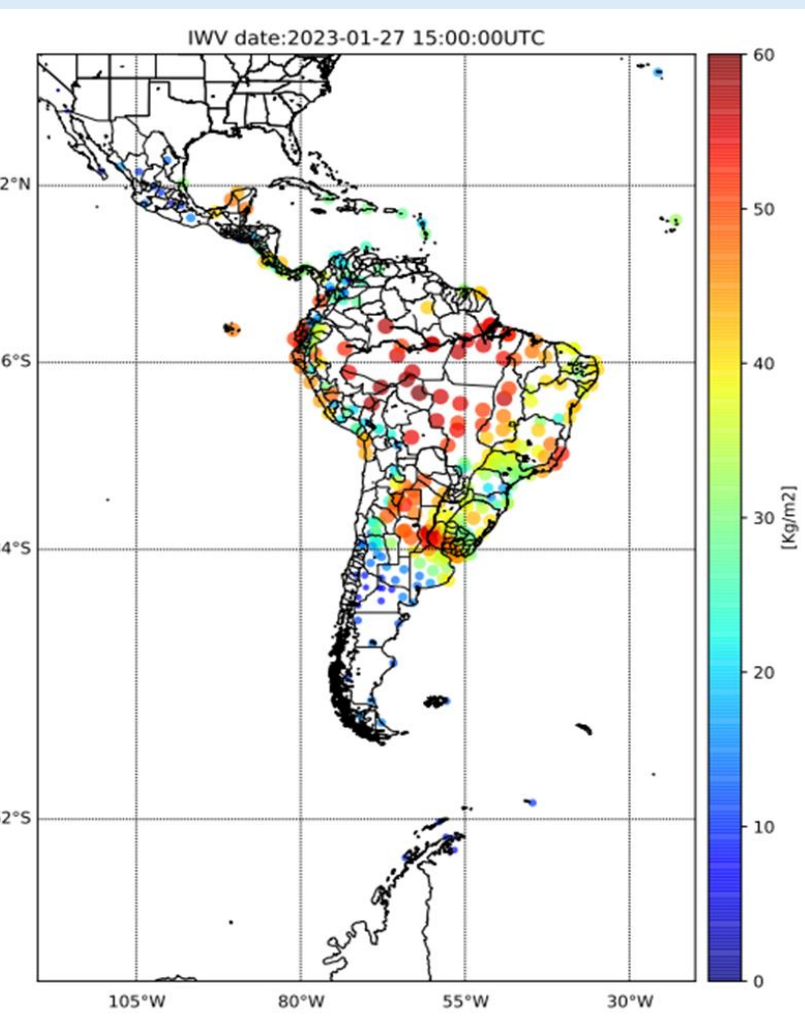


Figura 1: Vapor de Agua en estaciones GNSS

Introducción:

La variable atmosférica vapor de agua (IWV), es considerada una de las variables esenciales, ya que es reguladora de la temperatura en el planeta. Es una variable muy cambiante, espacial y temporalmente, por lo cual resulta fundamental medirla, monitorearla y analizar su variabilidad. Desde las estaciones continuas de observación GNSS (aproximadamente 500) de la red SIRGAS en América (Fig. 1), es posible estimar el retardo cenital troposférico (ZTD) y desde el mismo extraer la componente húmeda (ZWD) para el cálculo indirecto del IWV de la tropósfera (Fig. 2), que lo produce (Mackern et al; 2020). Se dispone de una serie de valores de IWV de más de 10 años(2014 a 2023), en las estaciones SIRGAS. Permitiendo un amplio análisis de su variabilidad.

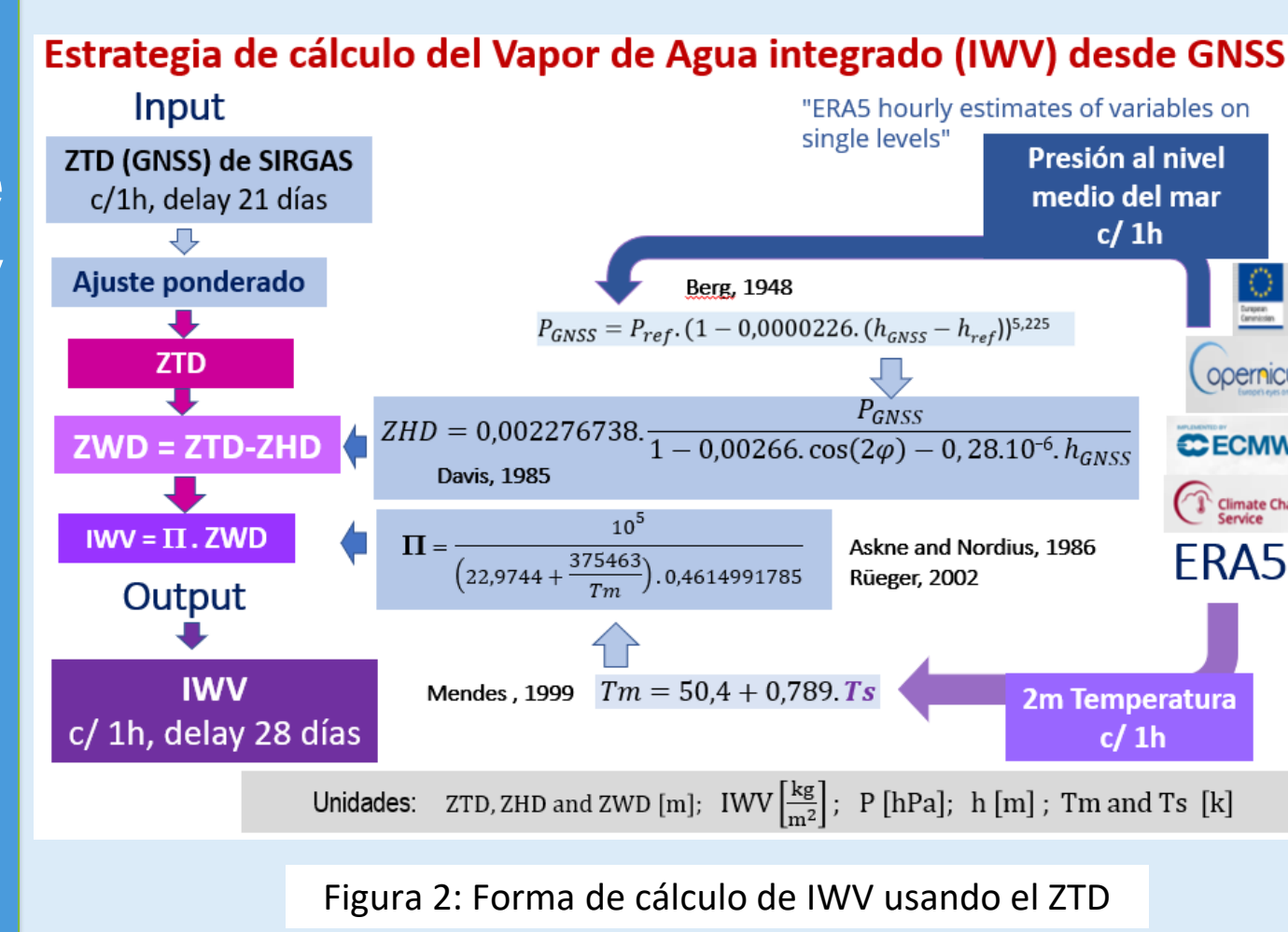
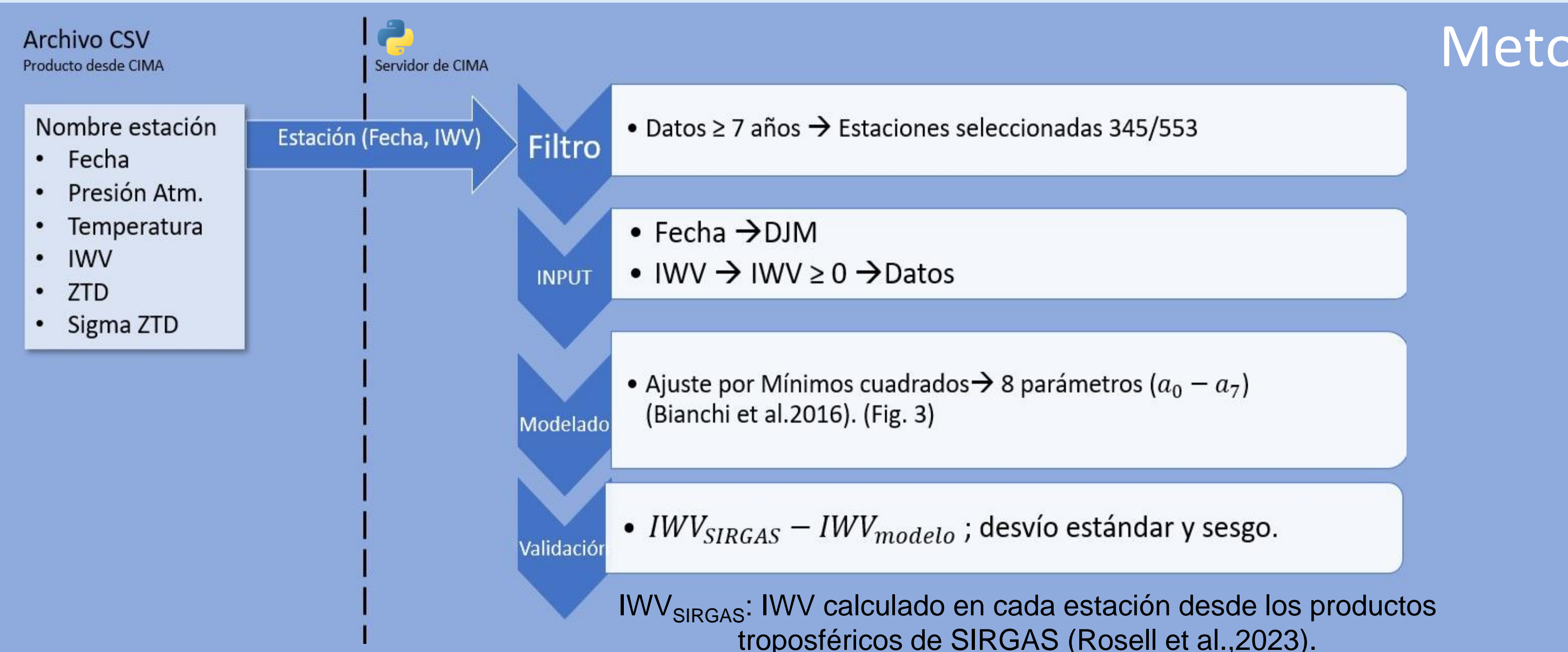


Figura 2: Forma de cálculo de IWV usando el ZTD

Hipótesis: Contar con una función que modele la variabilidad del IWV por sitio permitiría detectar anomalías, predecir comportamiento a futuro y estimar datos faltantes. Todos aportes a la climatología y meteorología regional.

Objetivo: Modelar las series de IWV utilizando el valor medio, tendencia decadal, variabilidad anual y semi-anual



Metodología

$$f(t) = a_0 + a_1 \frac{t-t_0}{3652.5} + a_2 \sin\left(\frac{2\pi t}{365.25}\right) + a_3 \cos\left(\frac{2\pi t}{365.25}\right) + a_4 \sin\left(\frac{4\pi t}{365.25}\right) + a_5 \cos\left(\frac{4\pi t}{365.25}\right) + a_6 \sin(2\pi t) + a_7 \cos(2\pi t)$$

t : la variable tiempo en día Juliano modificado

t_0 : época media de los datos

a_0 : valor medio del IWV

a_1 : tendencia decadal

a_2 y a_3 : amplitud anual

a_4 y a_5 : amplitud semi - anual

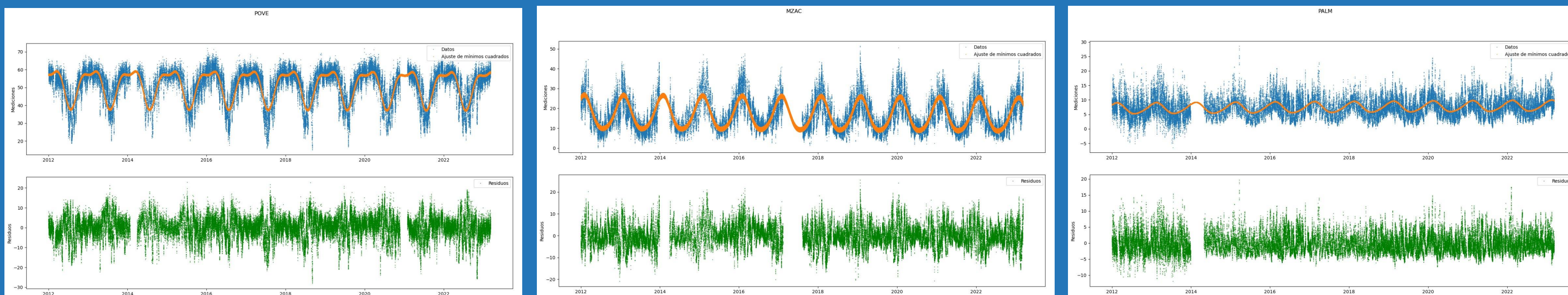
a_6 y a_7 : amplitud diaria

Bianchi et al., (2016)
Basado en Nilsson and Elgered (2008)

Figura 3: Función de modelado utilizada

Resultados I

• Se modeló la serie de IWV aplicando mínimos cuadrados y estimando 8 parámetros (valor medio, tendencia decadal, variabilidad anual, semianual y diaria) de una función según Bianchi et al, (2016), para cada una de las estaciones seleccionadas.(Fig.4)



Figuras 4-a, 4-b y 4-c: Se muestran los resultados de 3 estaciones como ejemplo, primero una comparación entre IWV_SIRGAS e IWV_modelado y debajo el valor de la diferencia entre ambos.

Resultados II

• La calidad del modelo se verificó obteniendo una función modelada a partir del 70% de los datos. Se comparó el valor del 30% de los datos que se quitaron aleatoriamente con el valor del IWV_modelado 70%, calculando el desvío estándar de las diferencias para cada estación. Observamos que la mayoría de las estaciones (58%) poseen un desvío de entre los 4.16[kg/m²]y los 8[kg/m²].(Fig.5)

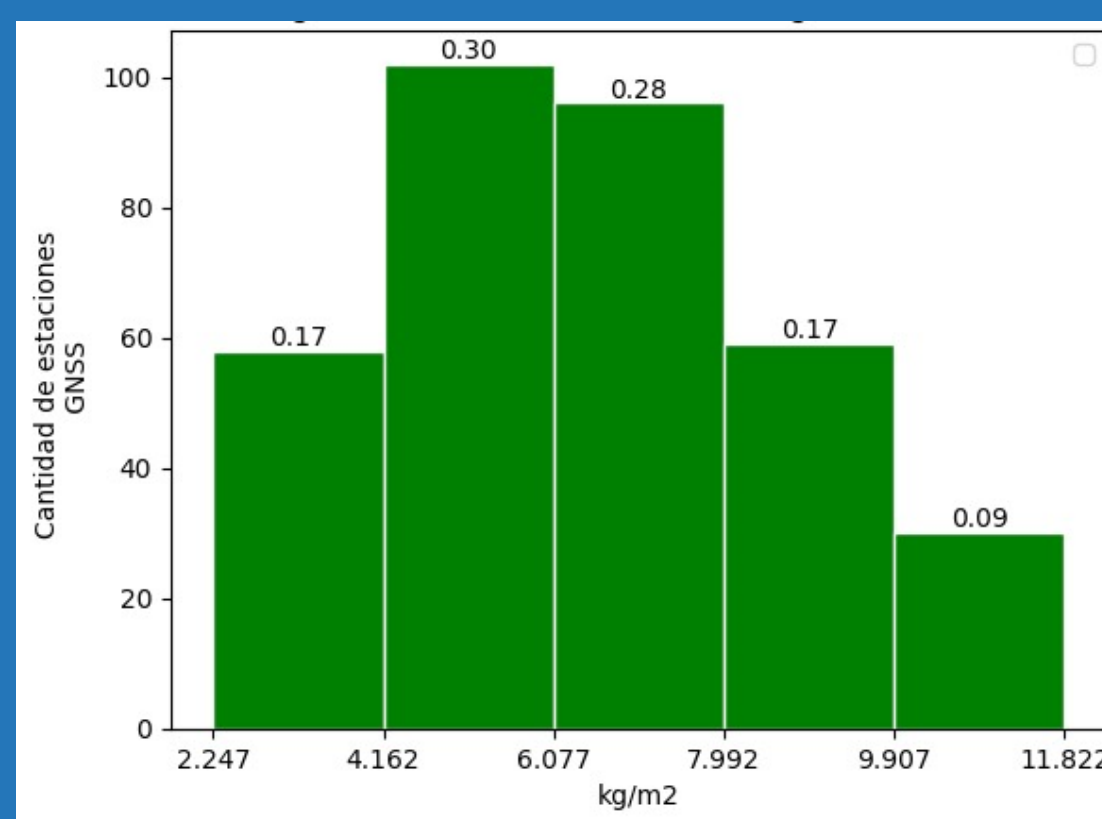


Figura 5: Histograma de los desvíos estándar de las diferencias
IWV_modelo 70% - IWV_SIRGAS [kg/m²]

Resultados III

• Se realizó una comparación con el modelo realizado por Bianchi et al.,(2016), calculando la diferencia entre los valores medios(60 estaciones) de este(2007-2013) y de IWV_modelado (2012-2023). Pudiéndose observar un cierto sesgo positivo, lo que indica que un 40% de las estaciones tiene valores medios mayores a los obtenidos por Bianchi.(Fig.6)

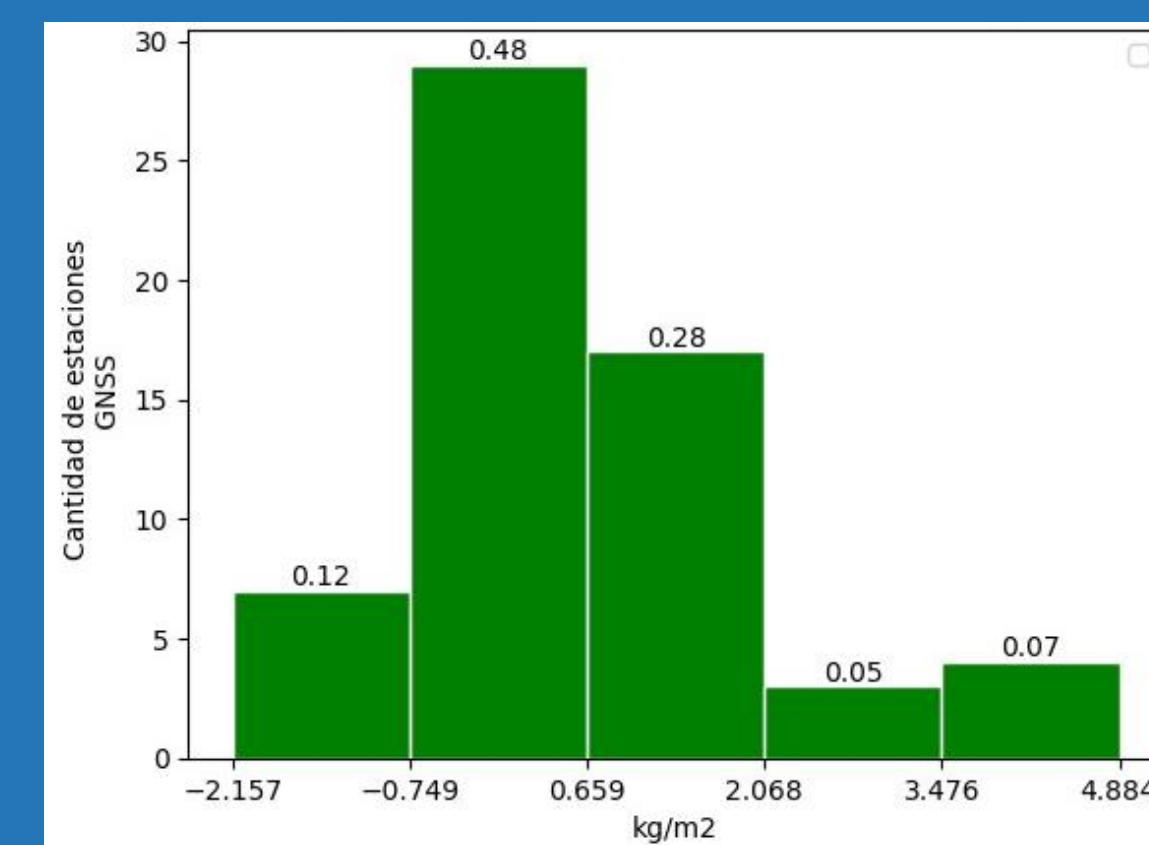


Figura 6: Histograma de las medias de las diferencias
IWV_modelo - Bianchi [kg/m²]

Resultados IV

• Se validó el valor medio (parámetro a0) del IWV_modelado con respecto al valor medio del IWV_SIRGAS (Rosell et al.,2023). Esto se hizo para 242 estaciones. Las diferencias resultaron menores que ±1 [kg/m²], teniendo el 93% de las estaciones un valor de entre los -0.43[kg/m²] y los 0.74[kg/m²] (Fig. 8). Además, se observa una muy buena correspondencia regional del IWV medio (Fig. 7 mapas).

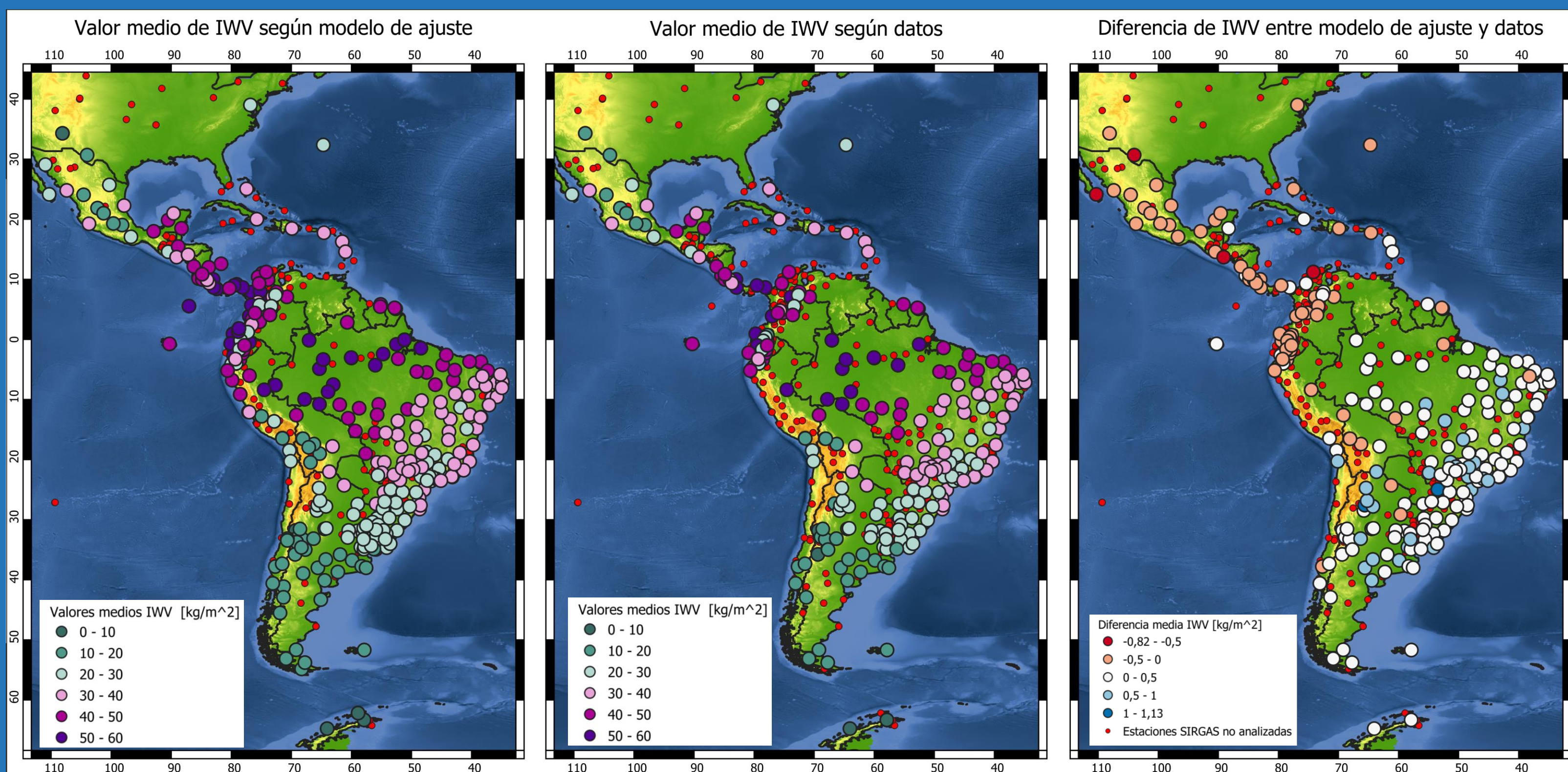


Figura 7: Mapas de las estaciones GNSS teniendo en cuenta los valores medios del IWV_modelado y del IWV_SIRGAS y la diferencia entre ambos.

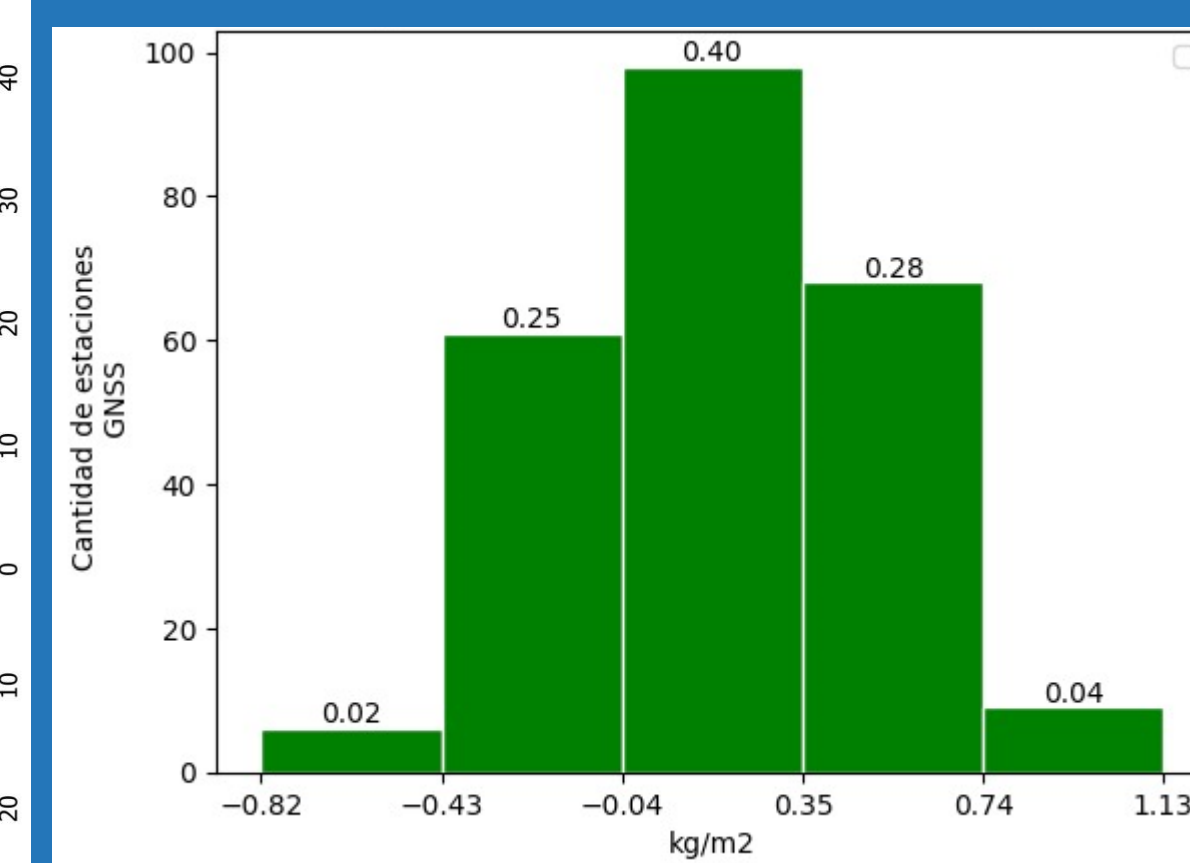


Figura 8: Histograma de las medias de las diferencias
IWV_modelo - Rosell [kg/m²]

Conclusiones

- De un total de 553 estaciones GNSS de la red SIRGAS, que disponen de IWV, se seleccionaron 345 estaciones que cumplieron la condición de disponer de una serie temporal de 7 años o más, para modelar su variabilidad.
- Teniendo en cuenta los resultados exhibidos observamos que para el 76 % de las estaciones (259) el desvío estándar es menor que 8[kg/m²] (un 25% del valor medio de IWV)(no mostrado).
- Entre los resultados de Bianchi et al.,(2016) se llega a una cierta tendencia decadal, tanto positiva como negativa dependiendo de la estación. Esto hace que tenga sentido lo mostrado en la Fig. 6, aunque falta verificar que las estaciones con diferencias negativas y positivas coincidan con las que tienen tendencias negativas y positivas respectivamente.
- Si bien se estimó la tendencia decadal (parámetro a1) en cada estación, sólo 231 estaciones cuentan con más de 10 años sobre las que hemos iniciado su análisis (no mostrado)
- Aun nos falta modelar la variabilidad sub-diaria, quizás horaria, para lo cual estamos encaminando investigación en la selección de frecuencias a adoptar por estación. Esperamos que con esto podamos mejorar el valor del desvío estándar tal que un 80% de las estaciones tenga un desvío menor al 10%.

Referencias

- Bianchi, C. E., Mendoza, L. P. O., Fernández, L. I., Natali, M. P., Meza, A. M., & Moirano, J. F. (2016). Multi-year GNSS monitoring of atmospheric IWV over Central and South America for climate studies. Annales Geophysicae, 34(7), 623–639. <https://doi.org/10.5194/angeo-34-623-2016>
- Mackern, M. V., Mateo, M. L., Camisay, M. F., & Morichetti, P. V. (2020). Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America. In International Association of Geodesy Symposia book series. https://doi.org/10.1007/1345_2020_121
- Nilsson, T and Elgered, G. (2008). Long-term trends in the atmospheric water vapor content estimated from groundbased GPS data, J.Geophys. Res.-Atmos., 113, <https://doi.org/10.1029/2008JD010110>
- Rosell, P. A., Mackern Oberti, M.V., Rivera, J.A., Euillades, P.A. (2023). 10-Year assessment of GNSS integrated water vapour in the SIRGAS network, Journal of South American Earth Sciences, Volume 130, 104539, ISSN 0895-9811, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104539>.