

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

B. Peralta <sup>1</sup>; V.I. Babolene <sup>1</sup>; L.H. Peña <sup>1</sup>; M.V. Mackern <sup>1,2,3</sup>; P. Rosell <sup>2,3</sup>  
M.F. Camisay <sup>2,3</sup>; M.L. Mateo <sup>1,2</sup>

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

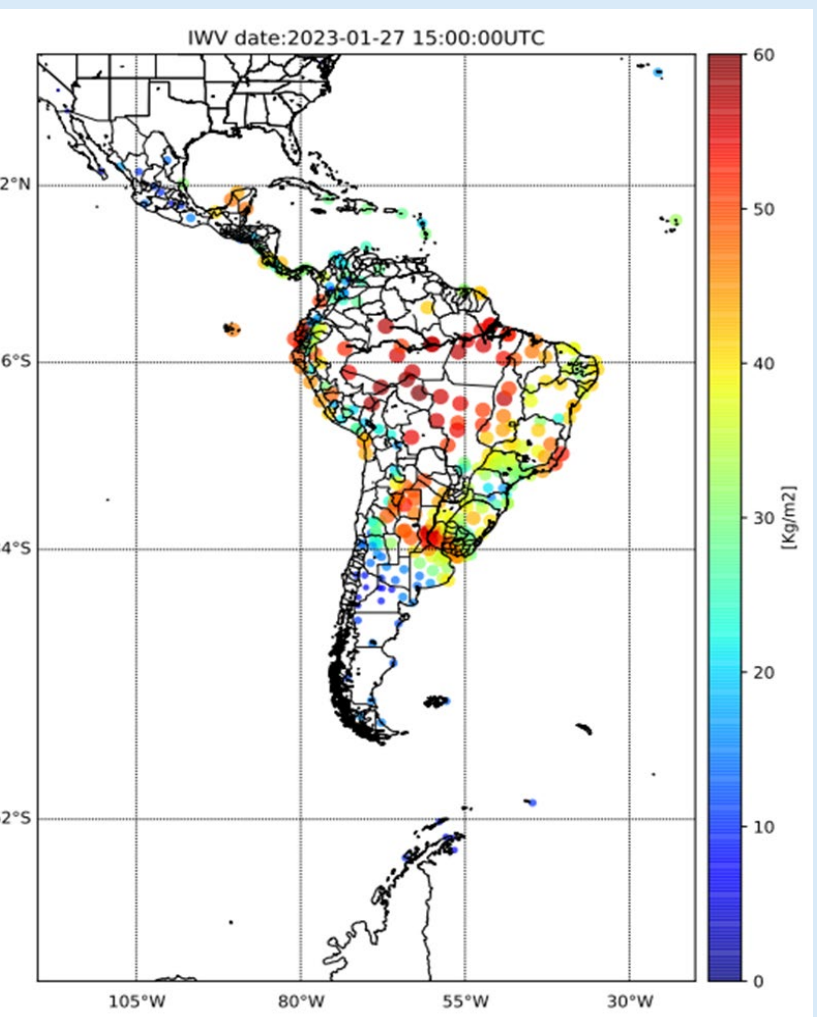


Figura 1: Vapor de Agua en estaciones GNSS

## 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  $IWV_{SIRGAS}$  de más de 10 años (2014 a 2023), en las estaciones GNSS de SIRGAS. Permitiendo un amplio análisis de su variabilidad.

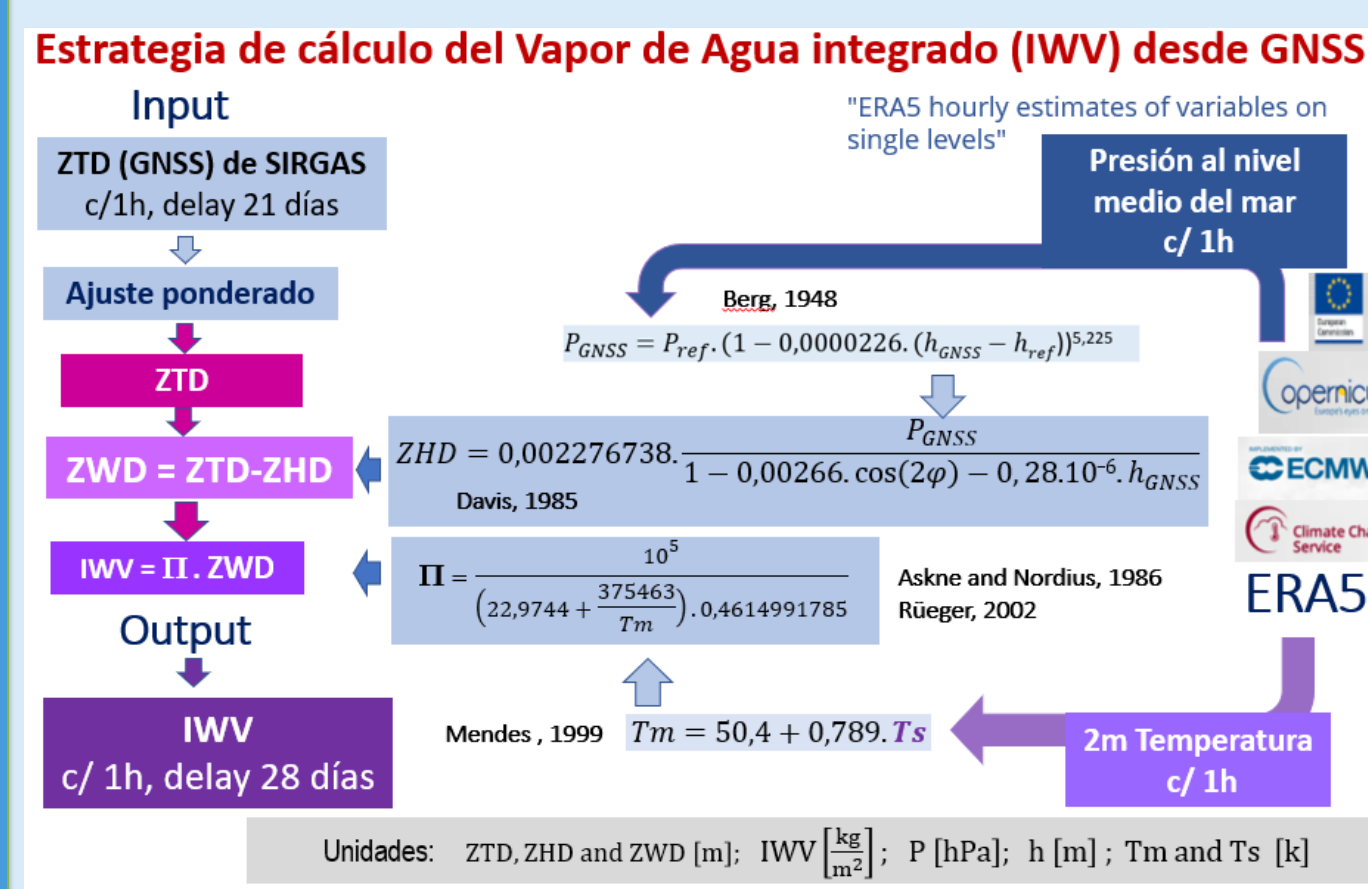
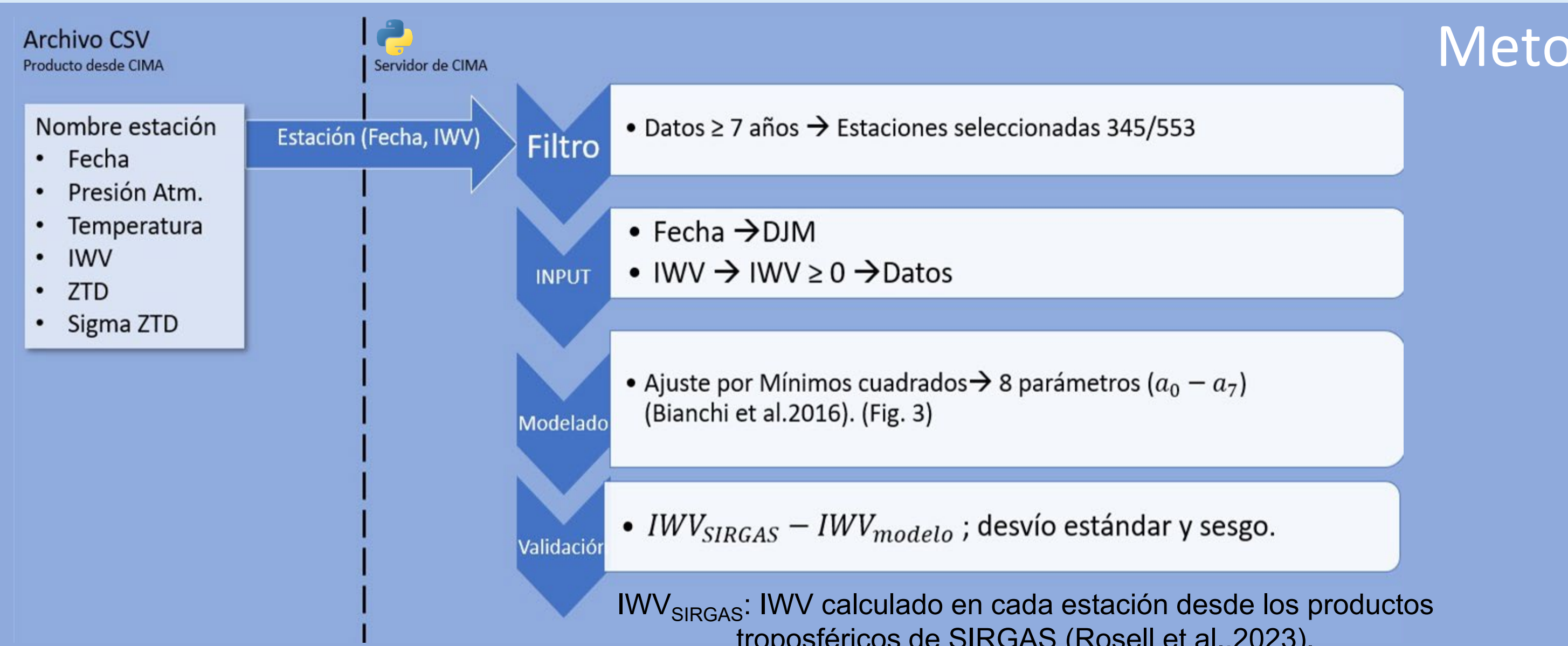


Figura 2: Forma de cálculo de IWV usando el ZTD

**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

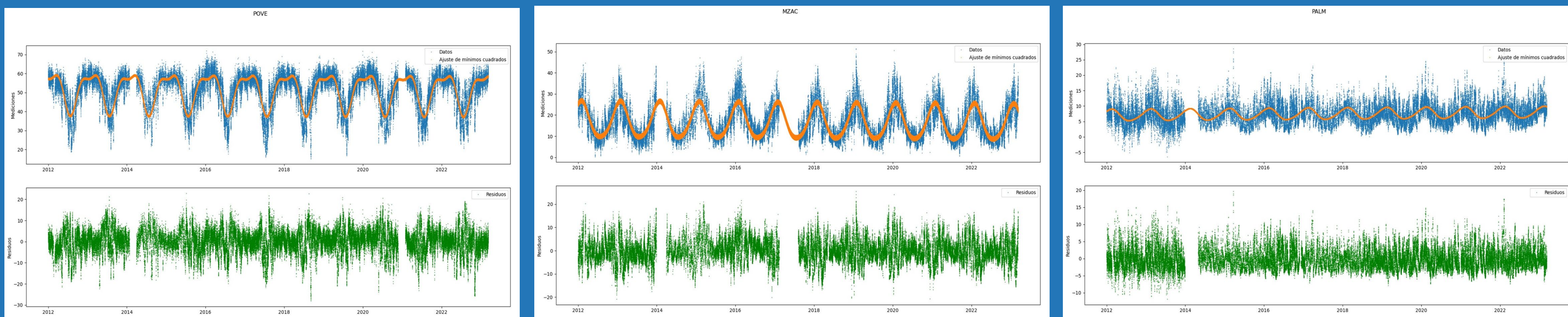
$a_6$  y  $a_7$ : amplitud diaria

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

Figura 3: Función de modelado utilizada ( $IWV_{modelado}$ )

## 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 la función según Bianchi et al, (2016), para cada una de las estaciones seleccionadas. Ejemplos en tres estaciones a distinta latitud (Fig.4)



Figuras 4-a, 4-b y 4-c: Se muestran las series de 3 estaciones como ejemplo, arriba comparación entre  $IWV_{SIRGAS}$  e  $IWV_{modelado}$  y debajo la diferencia entre ambos.

## Resultados II

• El modelo se validó obteniendo la función modelada a partir del 70% de los datos del  $IWV_{SIRGAS}$ . Los valores del  $IWV_{modelado}$  70% se compararon con el 30% de los datos quitados aleatoriamente, no utilizados en el modelado. Se calculó el desvío estándar de las diferencias para cada estación. El 58% de las estaciones poseen un desvío de entre 4.16 y 8 [kg/m²] (Fig.5)

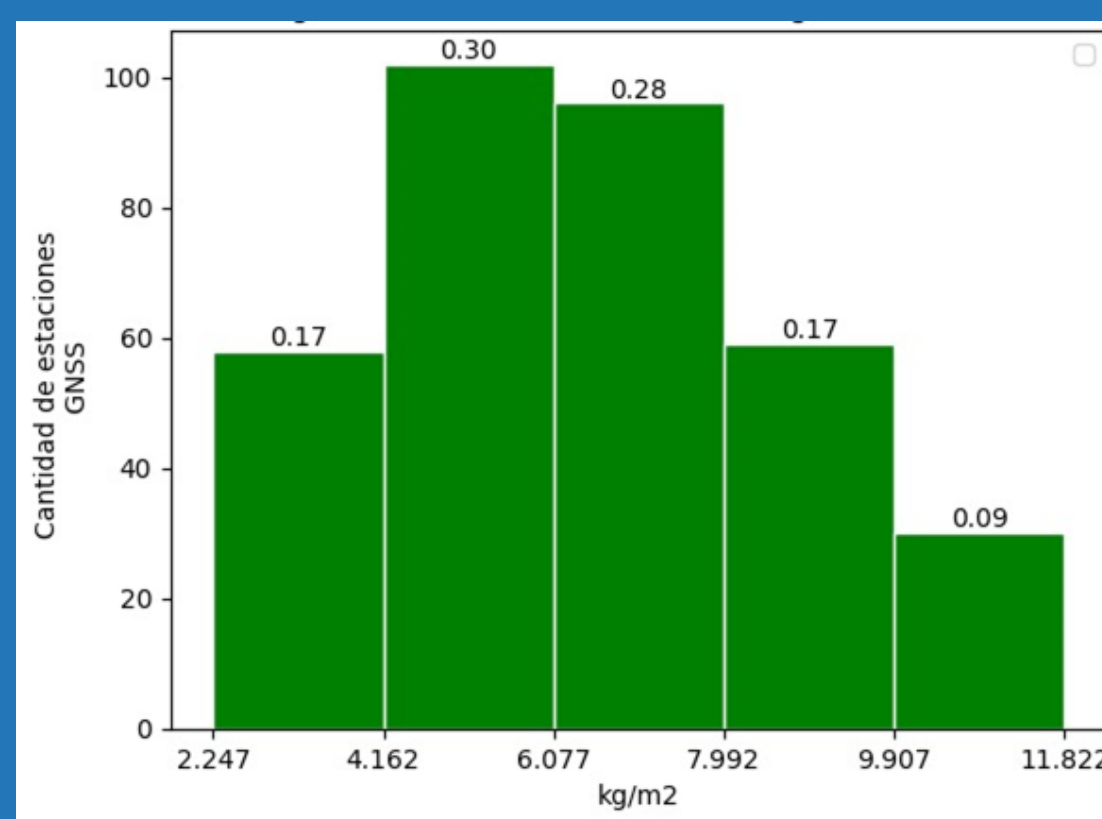


Figura 5: Histograma de los desvíos estándar de las diferencias  $IWV_{modelo\ 70\%} - IWV_{SIRGAS}$  [kg/m²]

## Resultados III

- Se realizó la comparación del valor medio ( $a_0$ ) con el correspondiente estimado por Bianchi et al.,(2016), en 60 estaciones coincidentes.
- Periodo de datos del modelado de Bianchi 7 años (2007-2013) . El nuestro 10 años (2012-2023).
- Se observa un cierto sesgo positivo. Un 40% de las estaciones tiene  $a_0$  mayores a los obtenidos por Bianchi.(Fig.6)

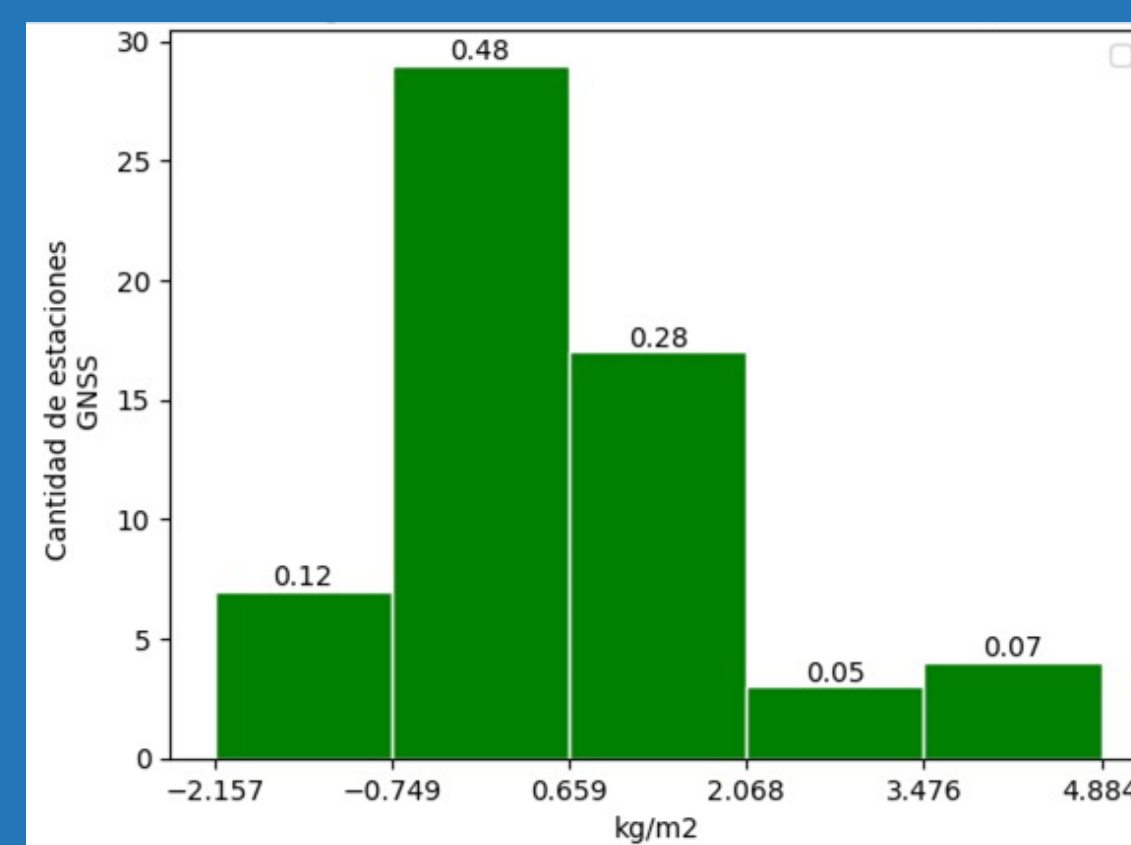


Figura 6: Histograma de las medias de las diferencias  $a_0_{IWV_{modelo}} - a_0_{IWV_{Bianchi}}$  [kg/m²]

## Resultados IV

• Se validó el valor medio (parámetro  $a_0$ ) 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  $\pm 1$  [kg/m²], teniendo el 93% de las estaciones un valor de entre -0.43 y 0.74 [kg/m²] (Fig. 8). Además, se observa una muy buena correspondencia regional del IWV medio (Fig. 7 mapas).

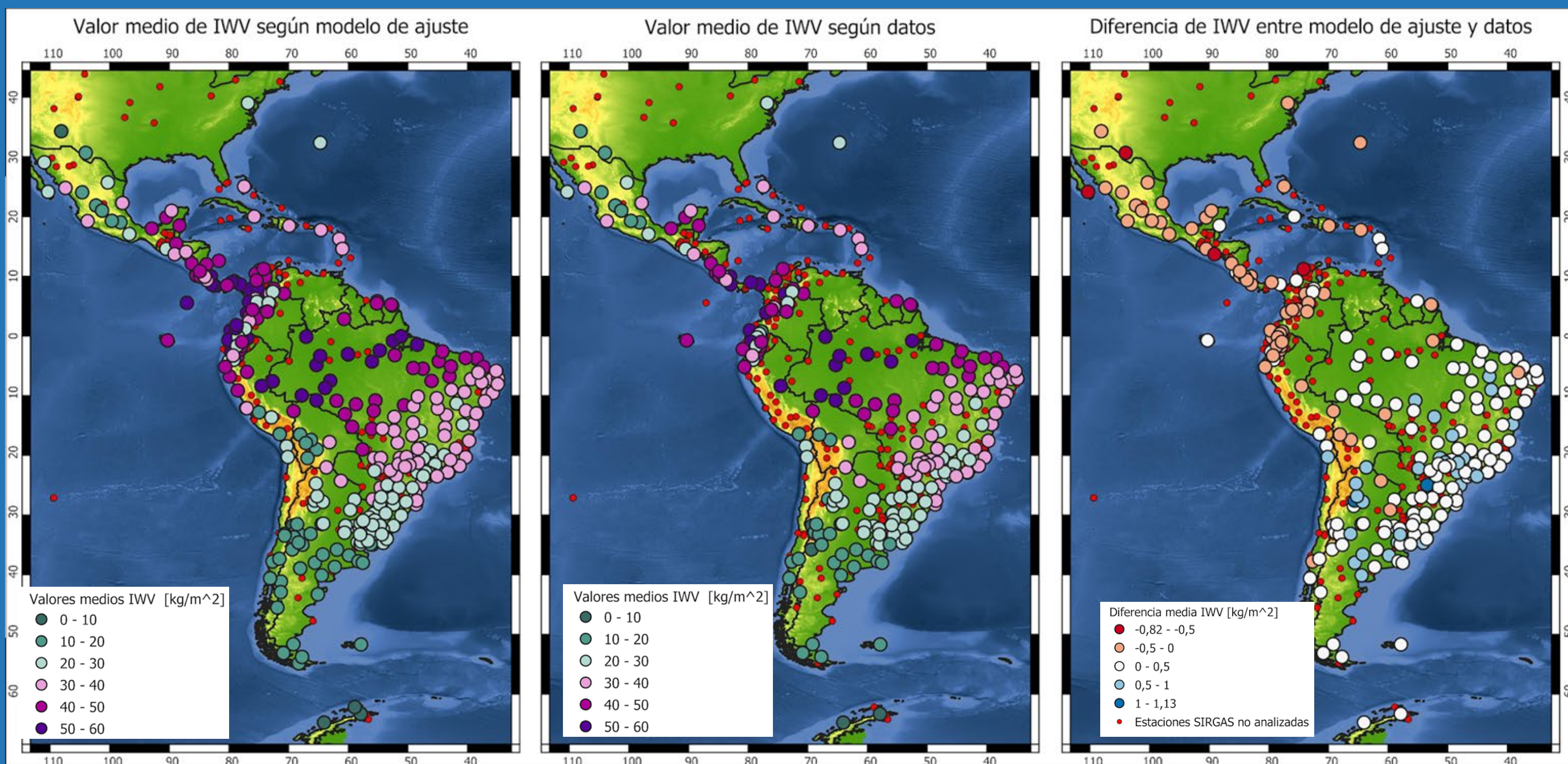


Figura 7: Mapas de las estaciones GNSS teniendo en cuenta los valores medios del  $IWV_{modelado}$  y del  $IWV_{SIRGAS}$  y la diferencia entre ambos.

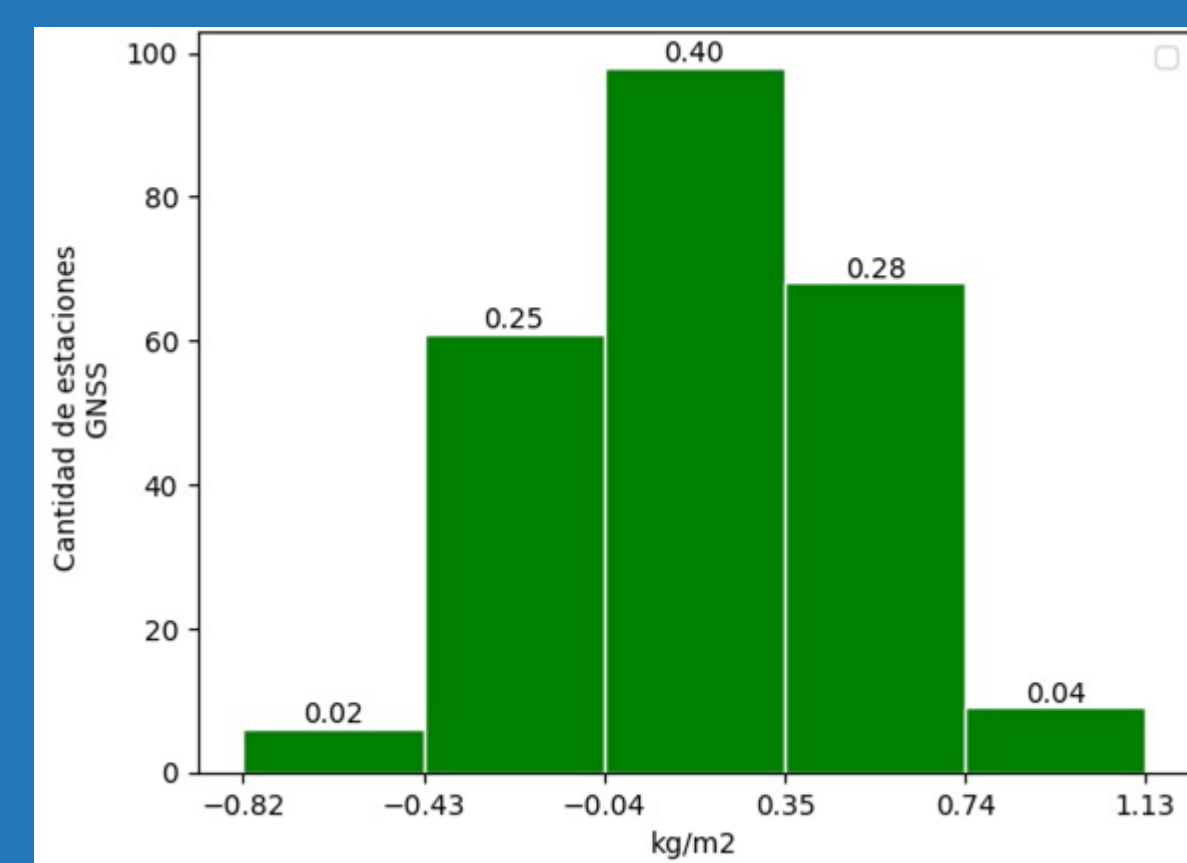


Figura 8: Histograma de las medias de las diferencias  $a_0_{IWV_{modelo}} - a_0_{IWV_{Rosell}}$  [kg/m²]

## 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).
- En los resultados de Bianchi et al.,(2016) se llega a tendencia decadal, tanto positiva como negativa dependiendo de la estación. Podría explicar las diferencias encontradas (fig.6), ya que el modelado refiere a datos de periodos de tiempo diferentes.
- Si bien se estimó la tendencia decadal (parámetro  $a_1$ ) en cada estación, sólo 231 estaciones cuentan con más de 10 años sobre las que hemos iniciado su análisis (no mostrado)
- Falta modelar la variabilidad sub-diaria, quizás horaria, para lo cual estamos encaminando investigación en la selección de frecuencias a adoptar por estación.

## 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](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>.