

# Análisis de una serie de 20 años del Vapor de agua integrado estimado desde estaciones GNSS geodésicas en América

***Mackern, María Virginia<sup>1,2,3</sup> Rosell, Patricia Alejandra<sup>2,3</sup>; María Laura Mateo<sup>1,2</sup>; María Fernanda Camisay<sup>4</sup>***

***Centro de Ingeniería Mendoza Argentina***

***<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.***

***<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería y Enología, Universidad Juan Agustín Maza. Mendoza, Argentina***

***<sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y tecnológicas***

***<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay***

**[vmackern@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:vmackern@mendoza-conicet.gob.ar)**

- 1 Introducción: SIRGAS
- 2 Estimación del ZTD desde SIRGAS (producto operacional, 2014 a 2024)
- 3 Recuperación de ZTD históricos desde REPRO2 de SIRGAS (producto reprocesamiento, 2002 a 2013)
- 4 Cálculo del IWV desde  $ZTD_{SIR}$  (serie completa 2002 a 2023)
- 5 Análisis de las series de IWV
- 6 Conclusiones

# 1 Introducción: SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico para las Américas)

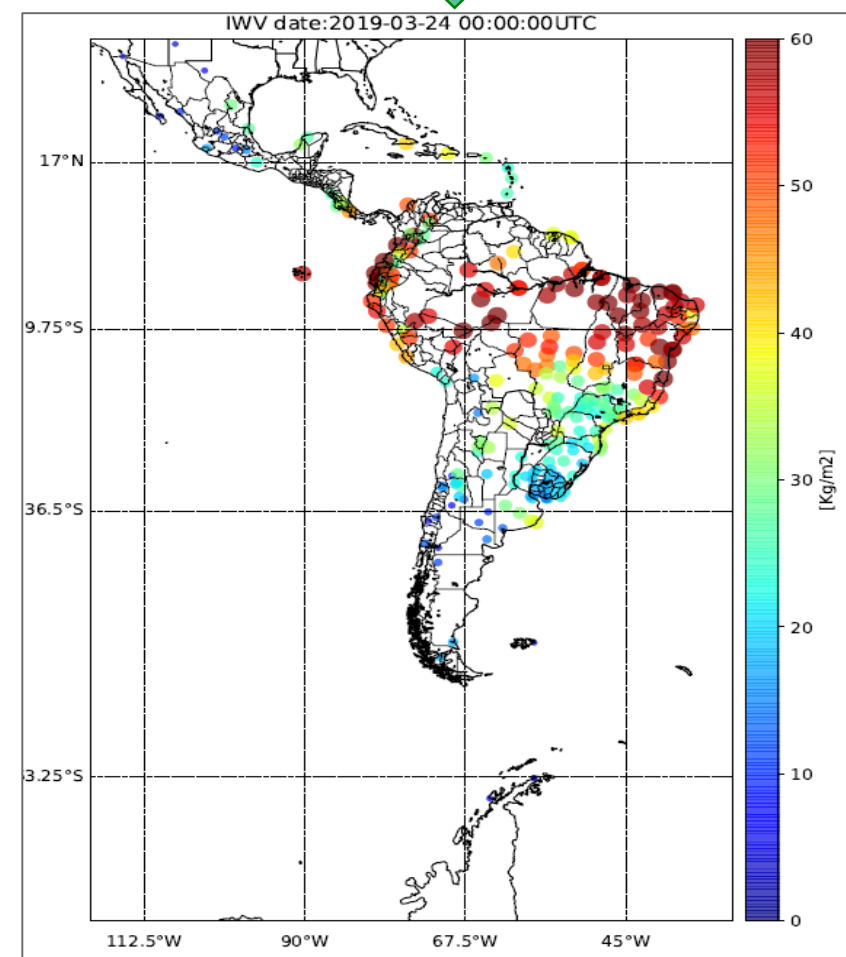
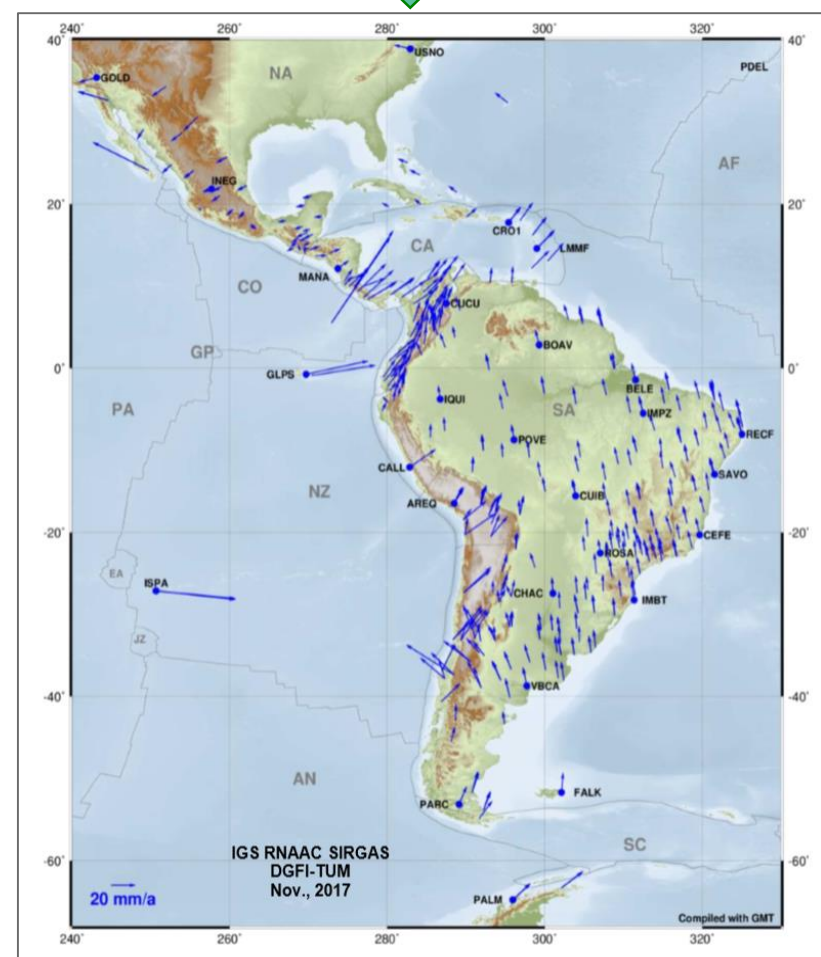
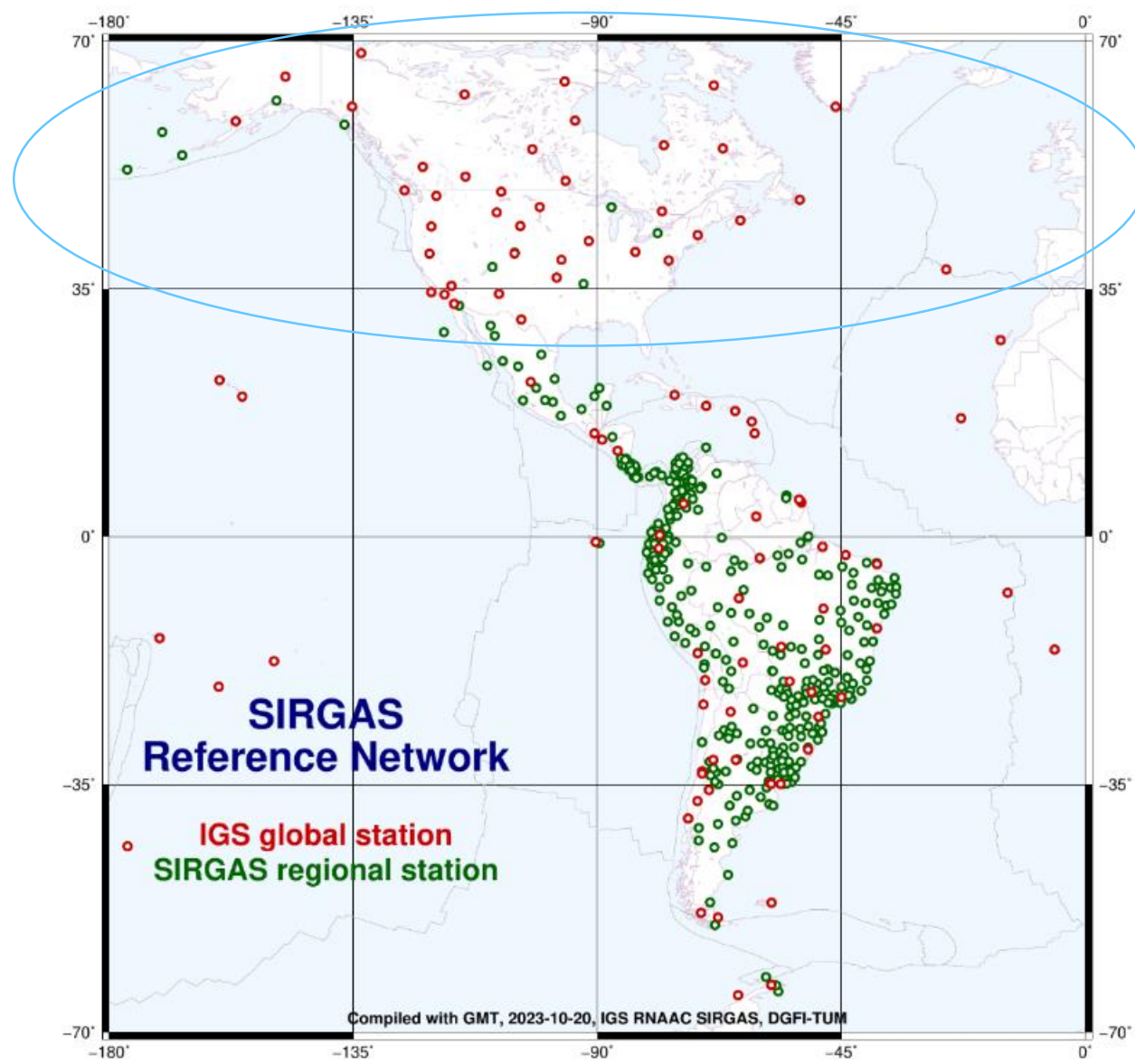
**OBJETIVO;** definir un marco de referencia UNICO, PRECISO y GLOBAL en los países de América

## RED GEODESICA: SIRGAS-CON

Es la infraestructura geodésica mas importante en América Desde el 2000 a la fecha (24 años de operación ininterrumpida)

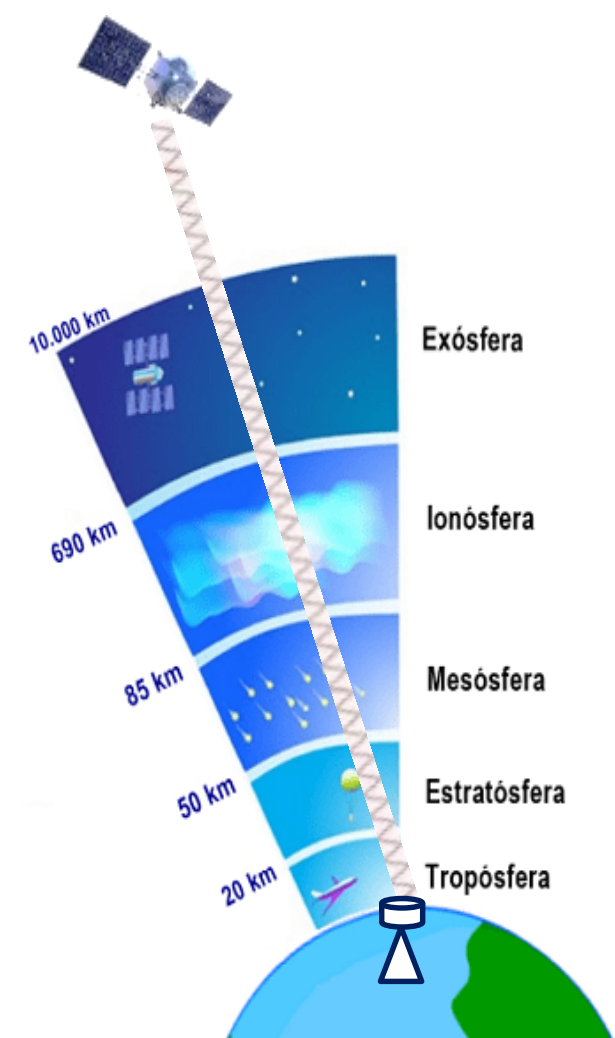
- mas de 650 estaciones GNSS continuas,
- propiedad de mas de 150 Instituciones de América.
- 14 Centros de datos nacionales
- 10 Centros de procesamiento
- 2 Centros de Combinación
- 1 Centro de análisis de atmosfera neutra

**En 2021 :**  
se incluyó América del Norte y GNA comenzó a estimar ZTD



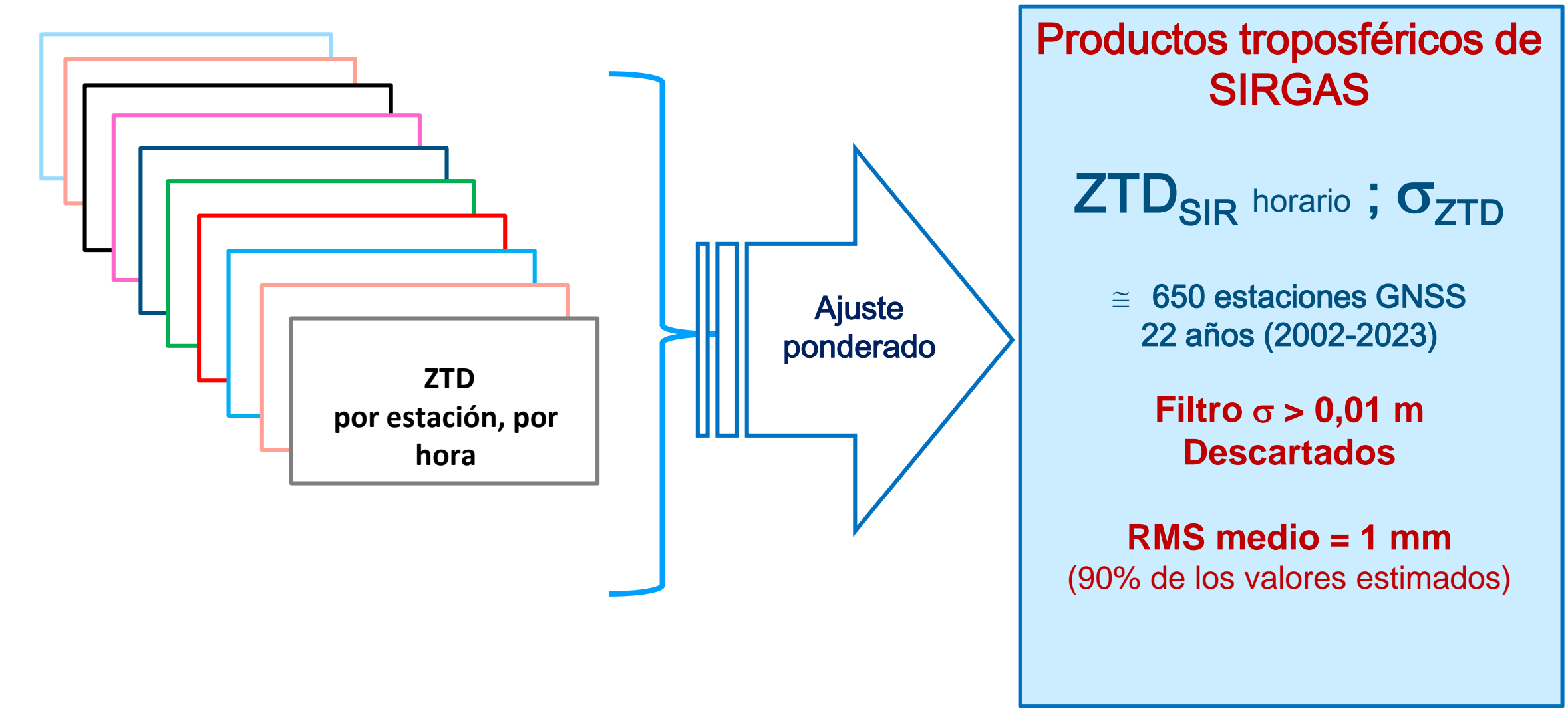
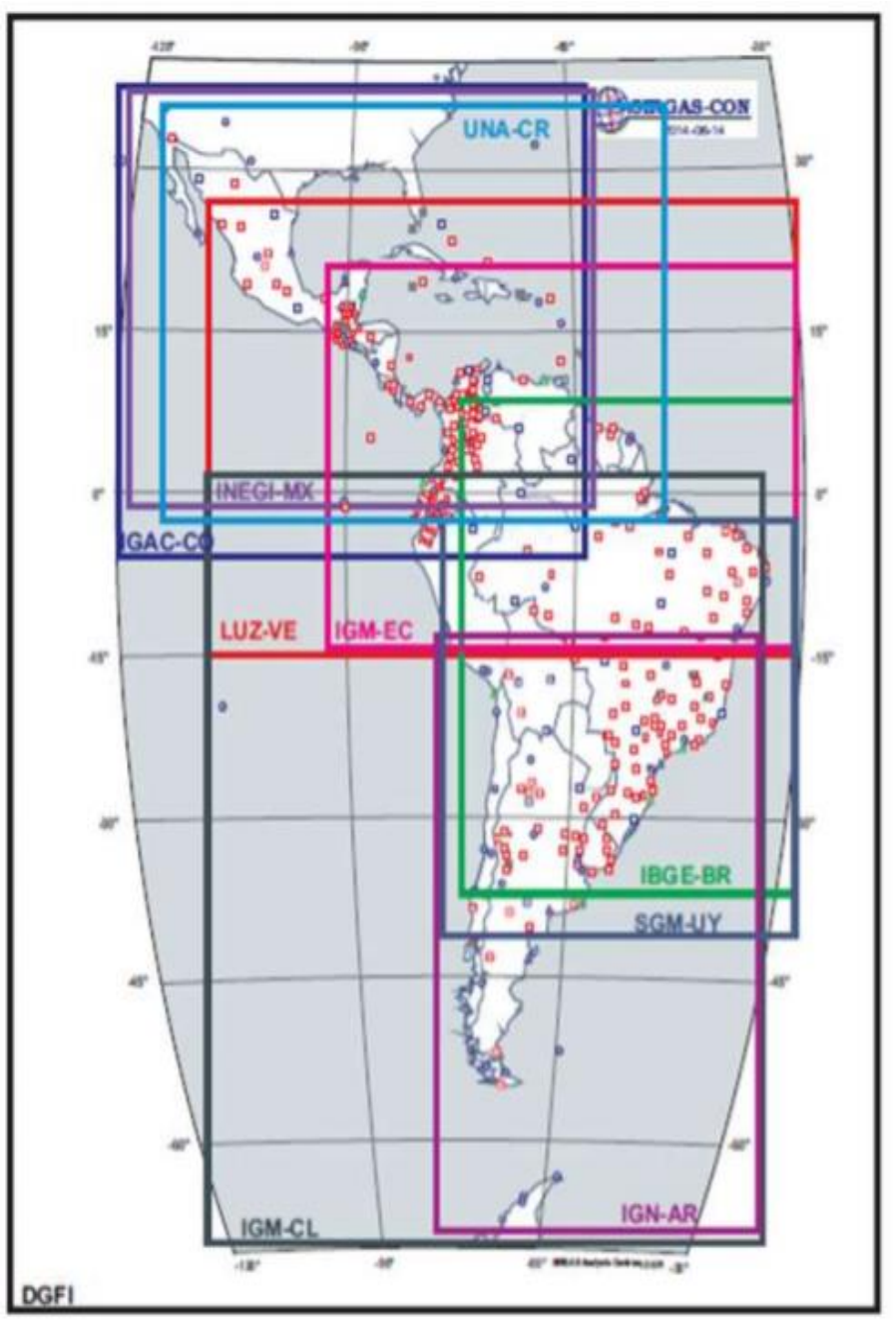
**DATOS:** Observaciones GNSS, intervalos 15 o 30 segundos, los 365 días del año

**PRODUCTOS:** Coordenadas semanales.  
Coordenadas Multianuales con velocidades  
**Productos troposféricos: ZTD Oficial IWV (nuevo)**



# 2 Estimación del ZTD desde SIRGAS (producto operacional, 2014 a 2024)

## Ajuste ponderado de ZTD



**Productos troposféricos de SIRGAS**

$ZTD_{SIR}$  horario ;  $\sigma_{ZTD}$

≅ 650 estaciones GNSS  
22 años (2002-2023)

**Filtro  $\sigma > 0,01$  m Descartados**

**RMS medio = 1 mm**  
(90% de los valores estimados)

Las estimaciones de ZTD de las soluciones semanales individuales se combinan utilizando el método de mínimos cuadrados para determinar los valores de ZTD por hora ponderados en cada estación. Estos son los productos finales  $ZTD_{SIR}$ .

- 24 ZTDs diarios por estación
- 10 Centros de procesamiento SIRGAS
- 2 Centros de procesamiento Experimentales
- 3 soluciones de ZTD para cada estación por hora

Se publican en la web de:  <https://sirgas.ipgh.org/productos/retrasos-troposfericos/>

La metodología se describe en:

[Mackern M.V., et al \(2020\). doi: 10.1007/1345\\_2020\\_121.](https://doi.org/10.1007/1345_2020_121)



<https://ggos.org/item/lower-neutral-atmosphere/>

# 3 Recuperación de ZTD históricos desde REPRO2 de SIRGAS (producto del reprocesamiento, 2002 a 2013)

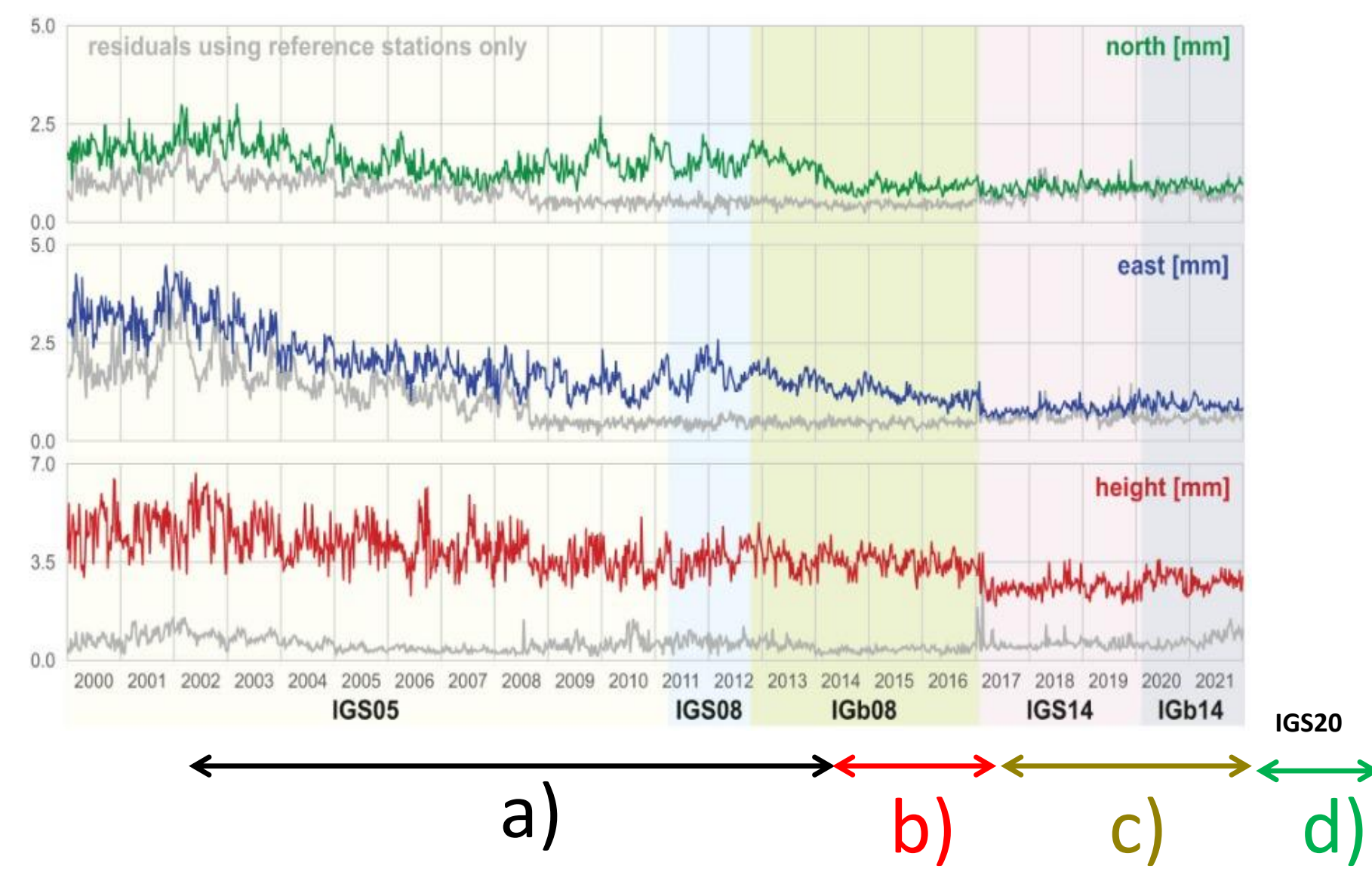
## Incluyó:

- Repro1 realizado por GNA al marco IGS14 , observaciones del 2002-2019
- Repro2 realizado por DGF al marco IGS14, observaciones del 2002-2013
- Estimaciones semanales individuales de todos los demás CP, incluso las reportadas fuera de tiempo NO incluidas en la combinación OPERACIONAL

## RESULTADO:

- Combinación del 2002 al 2013, incluyendo aportes de GNA y DGF, consistentes a IGS14
- Re-combinación del 2014 al 2016, incluyendo aportes de GNA, consistentes a IGS14 y soluciones operacionales de los demás CP en IGb08
- Re-combinación del 2017 a 11/2022 incluyendo aportes de GNA y soluciones operacionales de los demás CP en IGS14
- Re-combinación de 12/2022 a 5/2024 incluyendo aportes del nuevo CP experimental CRI y de todos los CP oficiales, consistentes a IGS20

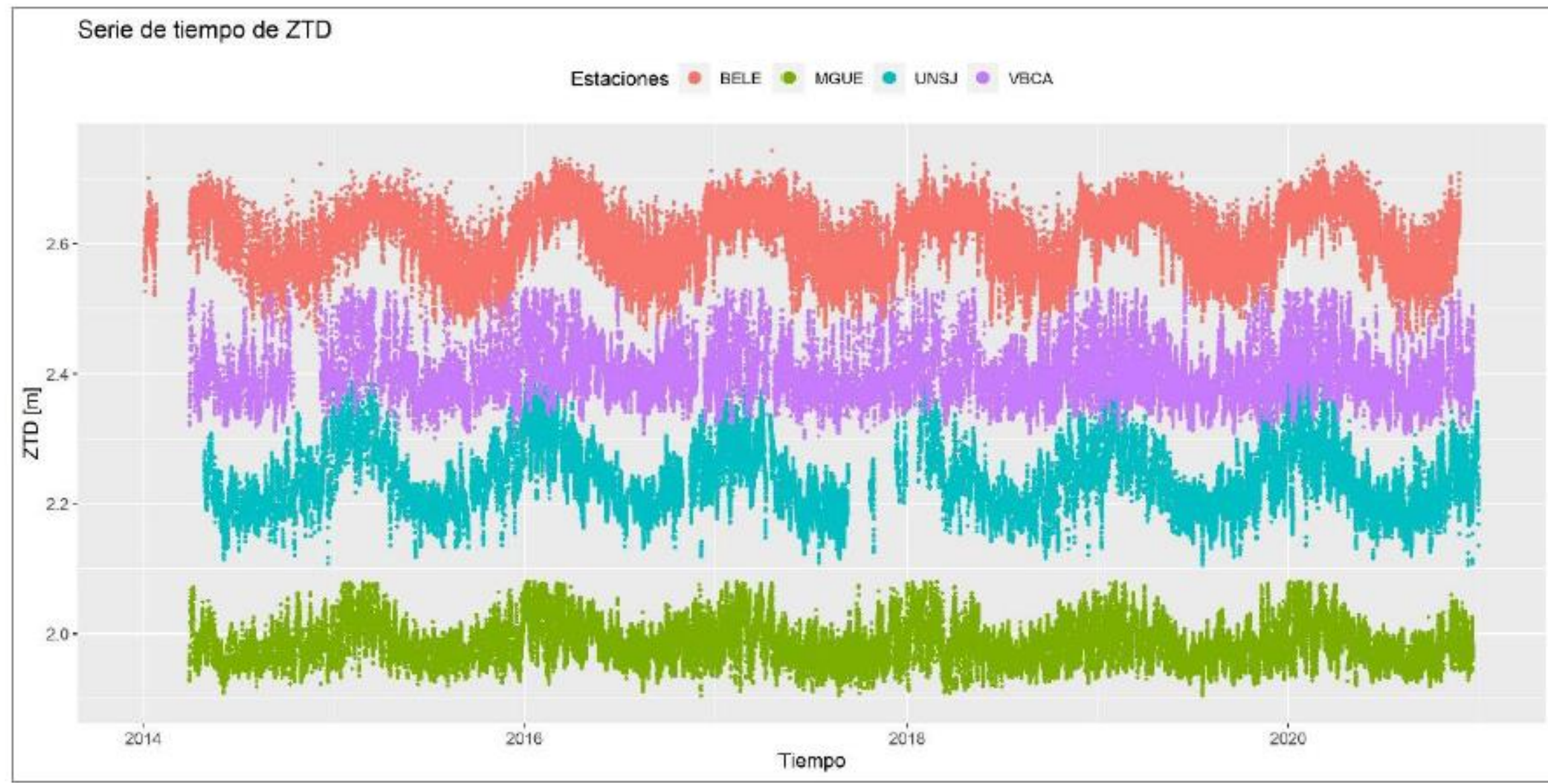
RMS medio semanal de los residuos entre coordenadas SIRGAS e IGS  
Bloques de colores indica el marco de referencia  
(Sánchez et al 2022, <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0138>)



desde 12/2022,  
marco de  
referencia IGS20

# Series de tiempo de ZTD<sub>SIR</sub>

- Series de tiempo del ZTD<sub>SIR</sub> para cuatro estaciones ubicadas en regiones climáticas distintas dentro del área de estudio (Tabla 1).



- Distribución espacial valores medios del ZTD<sub>SIR</sub>

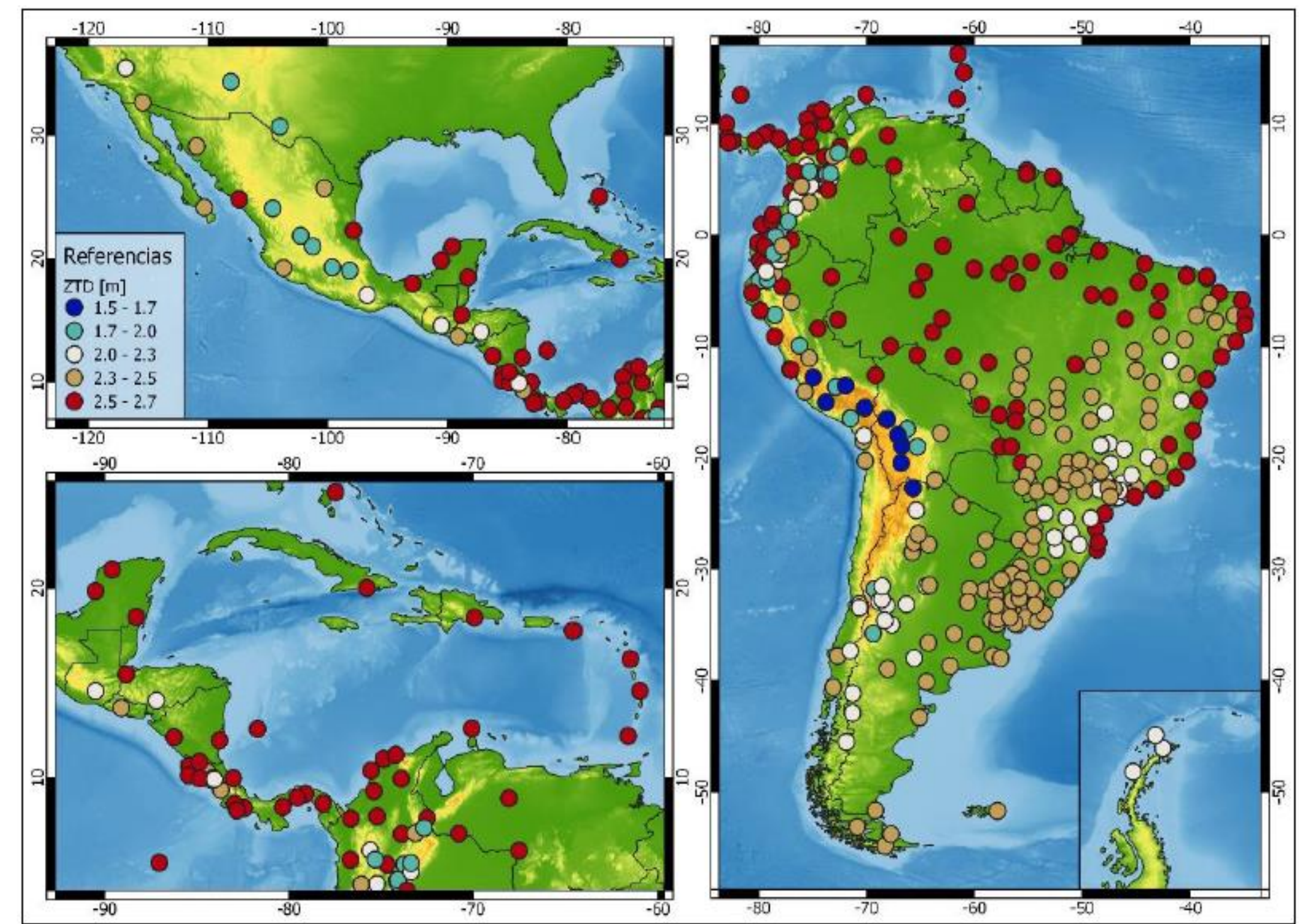


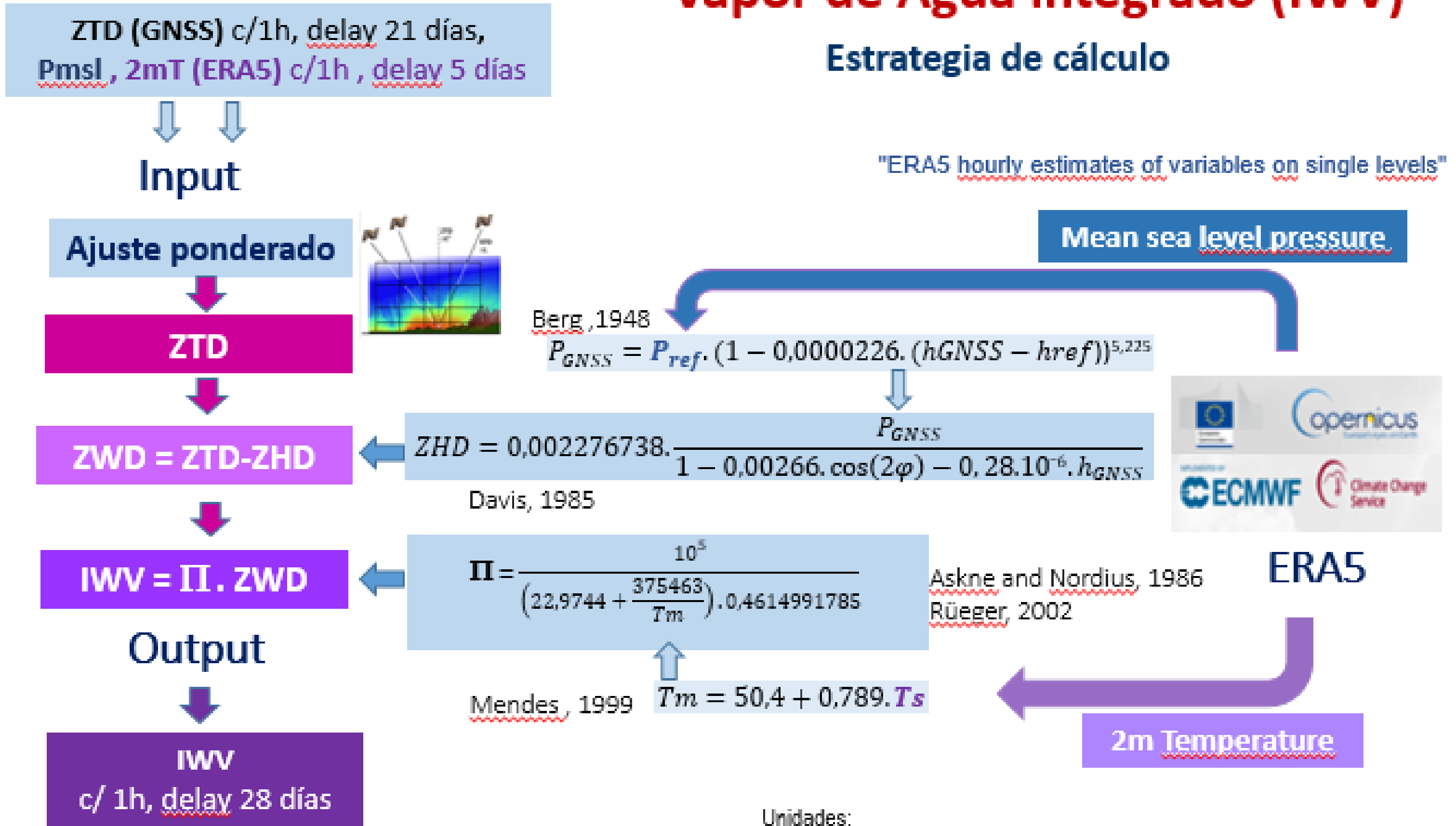
Tabla 1: Posiciones de estaciones SIRGAS comparadas y su valor ZTD<sub>SIR</sub> medio para el periodo 2014-2021

Estación	País	Latitud	Longitud	Altura [m]	ZTD <sub>SIR</sub> medio [m]
BELE	Brasil	-01° 24' 31.65"	-48° 24' 45.18"	9	2.61
MGUE	Argentina	-35° 46' 38.46"	-69° 23' 52.53"	1554	1.98
UNSJ	Argentina	-31° 32' 28.52"	-68° 34' 37.41"	710	2.23
VBCA	Argentina	-38° 42' 02.75"	-62° 16' 09.22"	59	2.39

Resultados publicados en Rosell et al. 2023  
<https://revistas.umaza.edu.ar/icu/article/view/436>

# 4 Cálculo del IWV desde ZTD<sub>SIR</sub> y ERA5 (serie completa 2002 a mayo 2024)

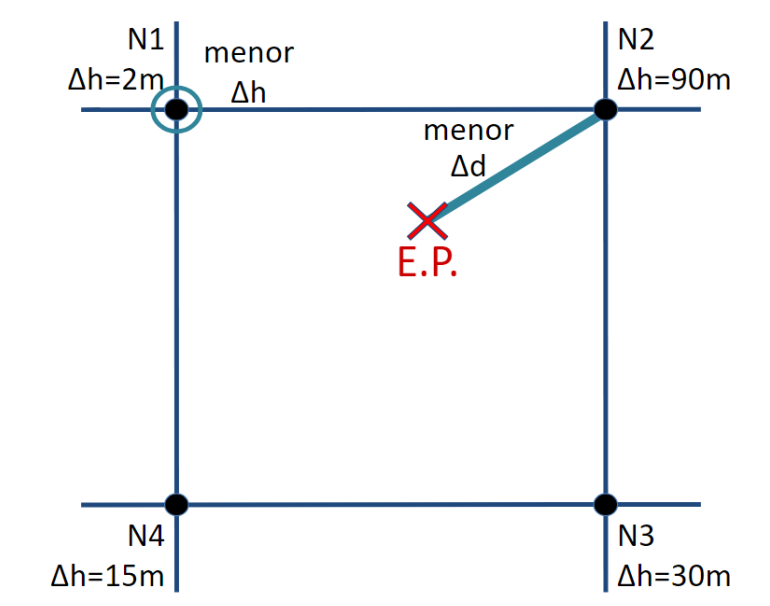
## Vapor de Agua integrado (IWV) Estrategia de cálculo



Unidades:  
ZTD, ZHD and ZWD [m];  
IWV  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$ ; P [hPa]; h [m]; Tm and Ts [k]

Los valores ZTD<sub>SIR</sub> se usan para calcular el IWV aplicando la relación de Askne y Nordius (1986) al componente húmedo del retraso (ZWD). La figura resume las ecuaciones y constantes utilizadas en el cálculo.

Parámetros de ERA5 del nodo mas cercano:  
P<sub>ref</sub> : Presión al nivel del mar  
2mT: Temperatura a 2 m de superficie

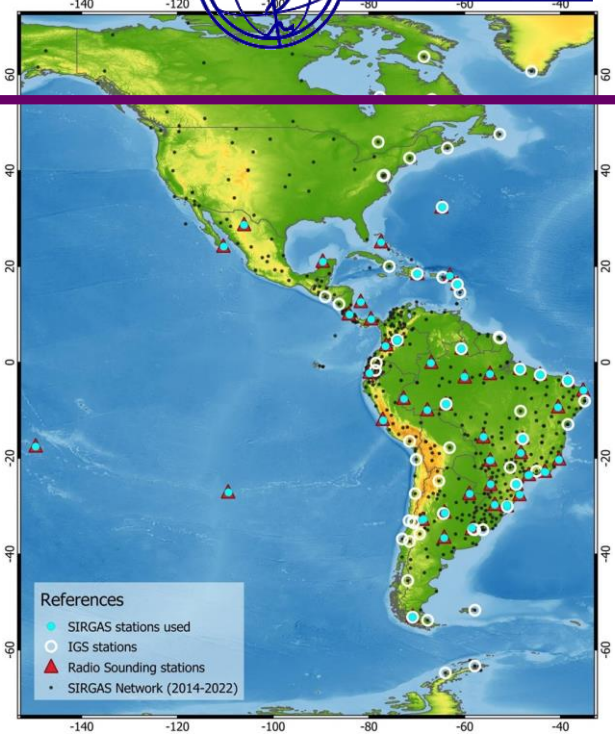


Se analizó la posibilidad de utilizar los parámetros del nodo de menor dh

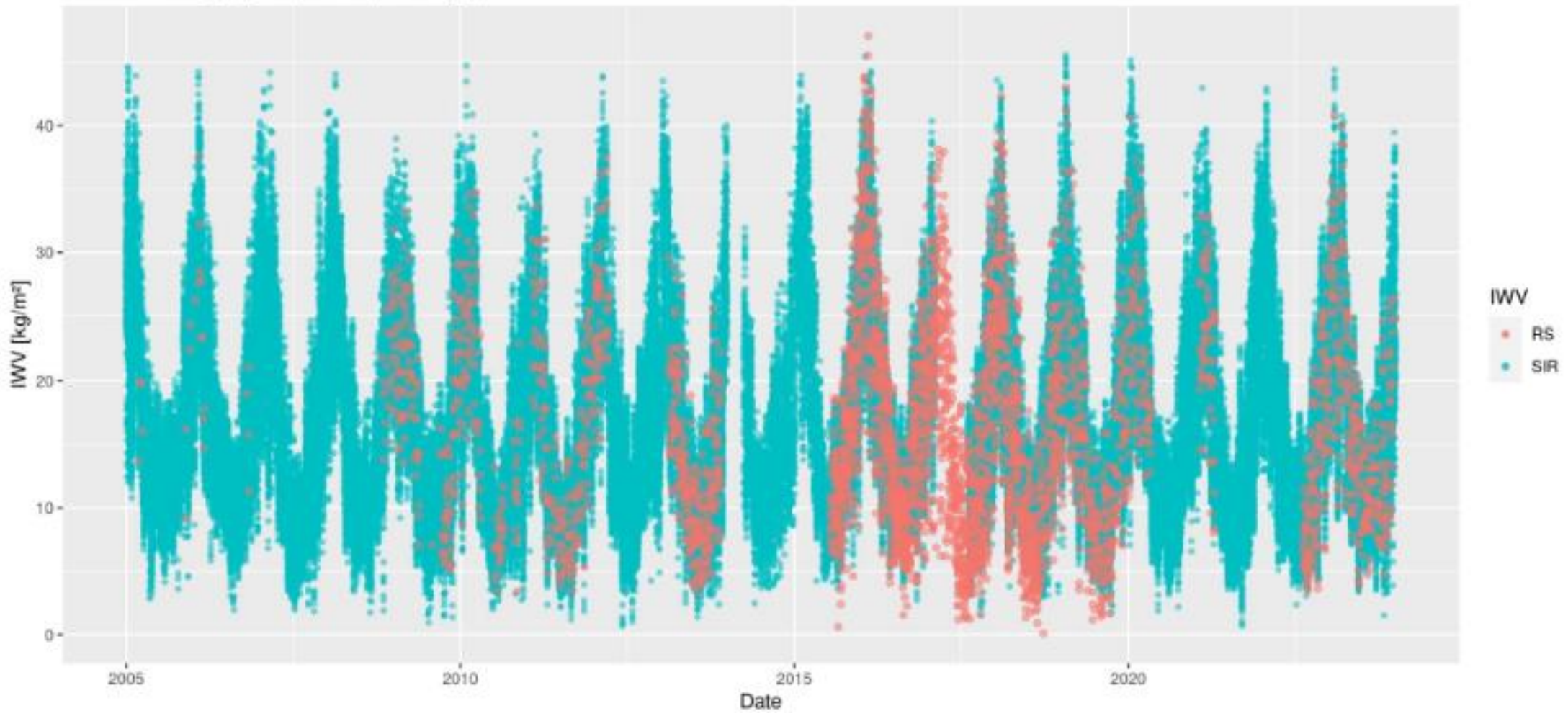
(Presentado en la XXVII Jornadas de UNCuyo – 3/10/24 Rossi et. al)

# 4 Cálculo del IWV desde $ZTD_{SIR}$ (serie completa 2002 a mayo 2024)

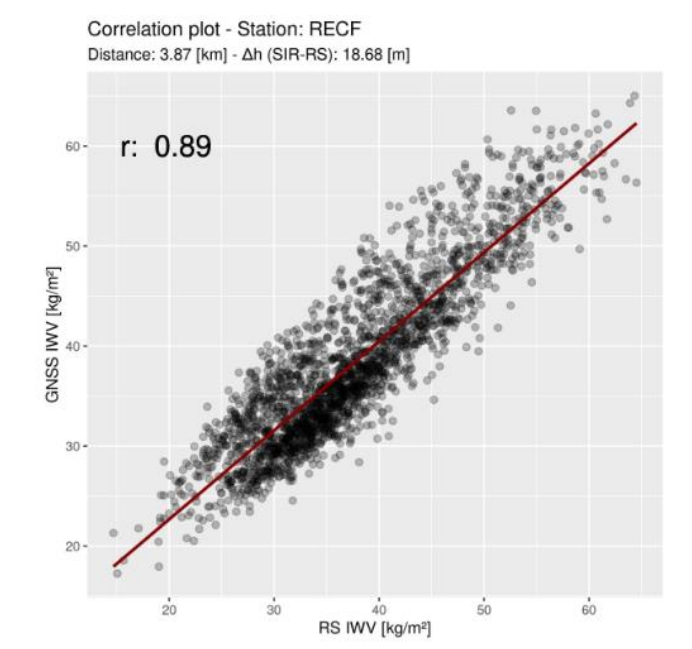
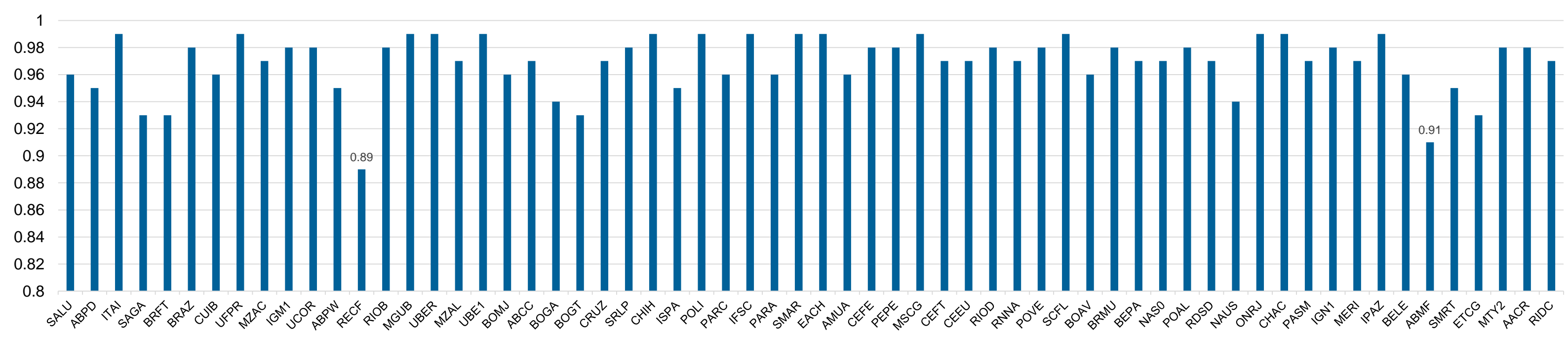
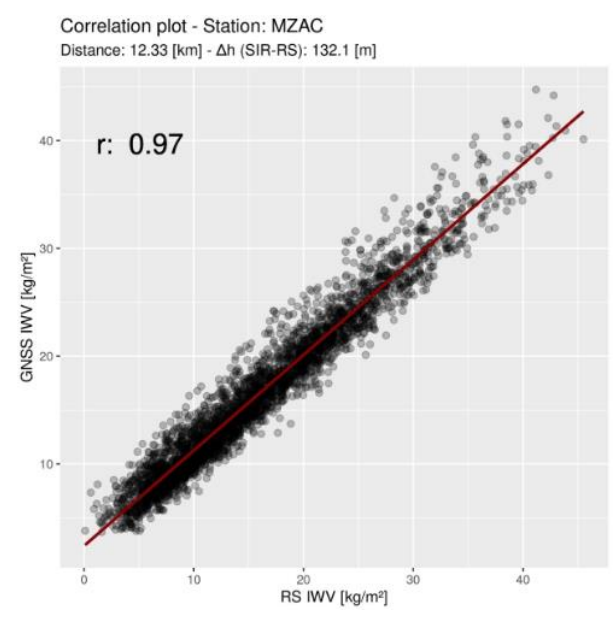
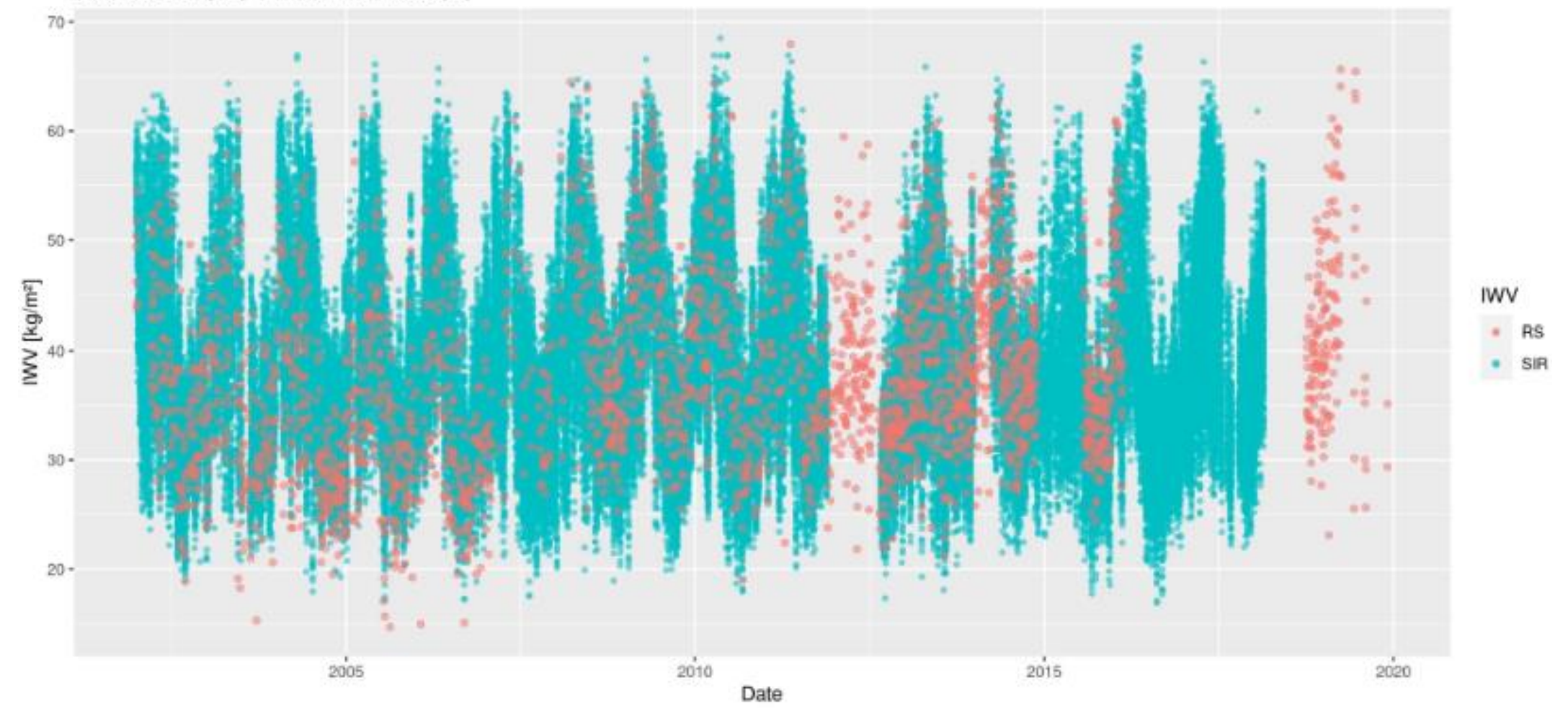
Se estimaron las series de  $ZTD_{SIR}$  e  $IWV_{SIR}$  en cada estación SIRGAS para el período de 23 años (2002-2024). Se validaron con 64 estaciones de Radiosondeos (*Presentado en la XXVII Jornadas de UNCUYO Mateo et. al*)



IWV - Sounding data vs GNSS - Station: MZAC  
Distance: 12.33 [km] -  $\Delta h$  (SIR-RS): 132.1 [m]



IWV - Sounding data vs GNSS - Station: RECF  
Distance: 3.87 [km] -  $\Delta h$  (SIR-RS): 18.68 [m]

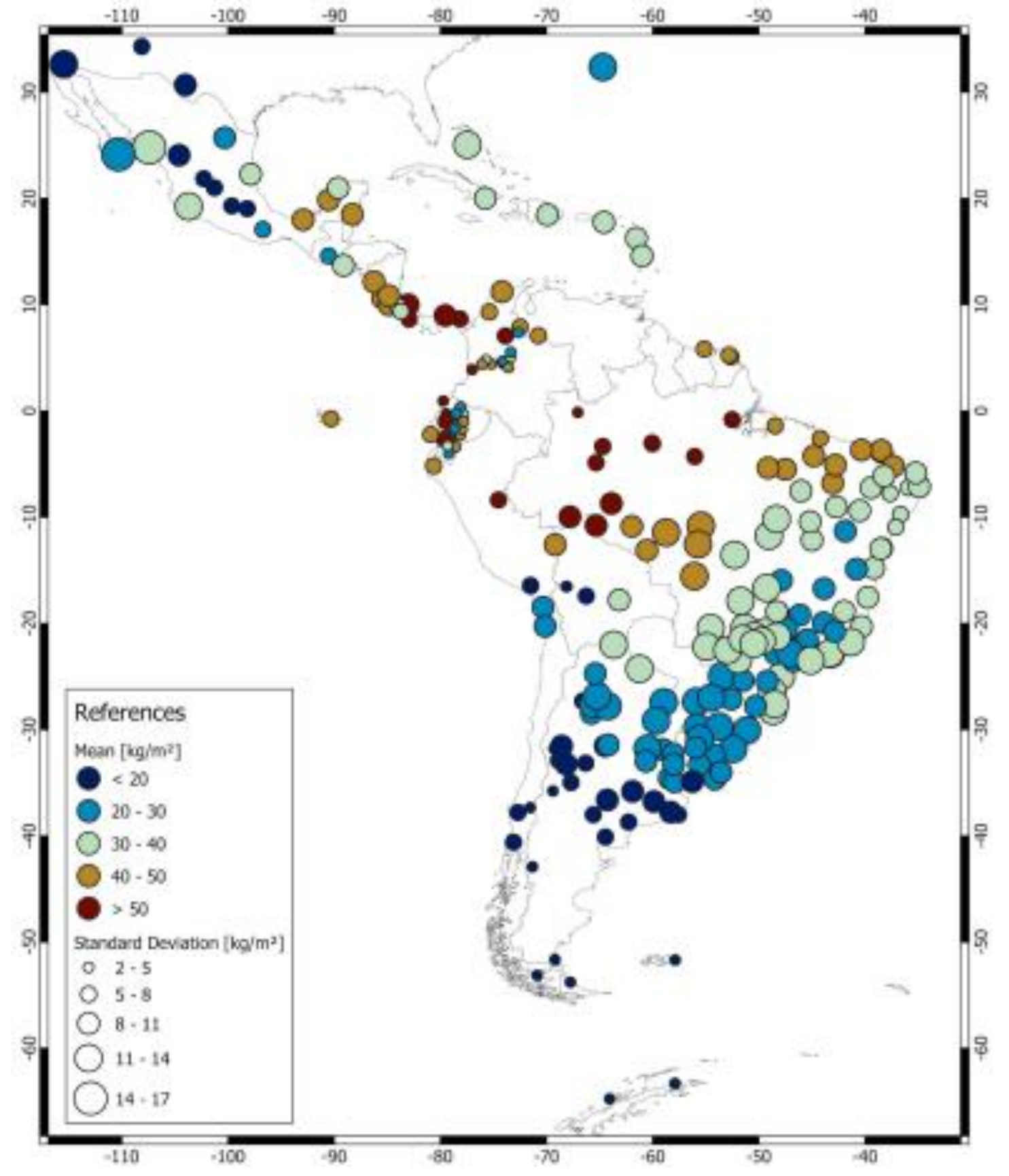
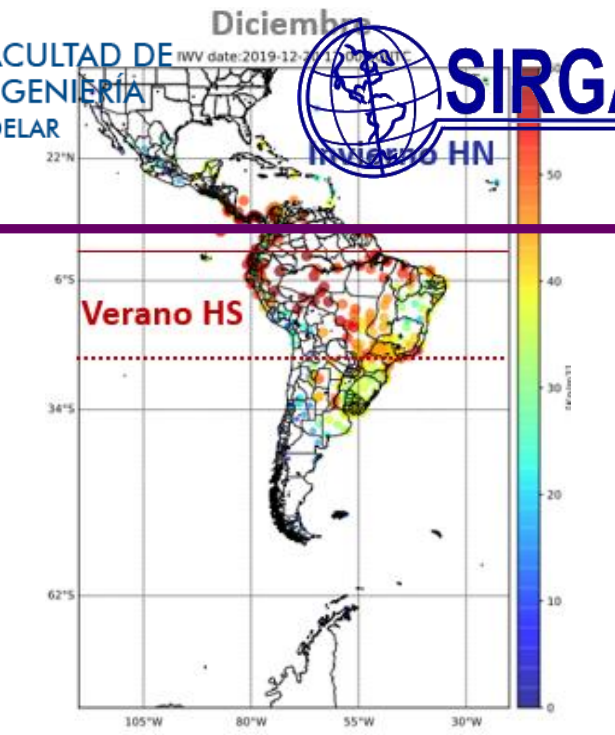


■ correlación (IWVSIR vs PWRS)

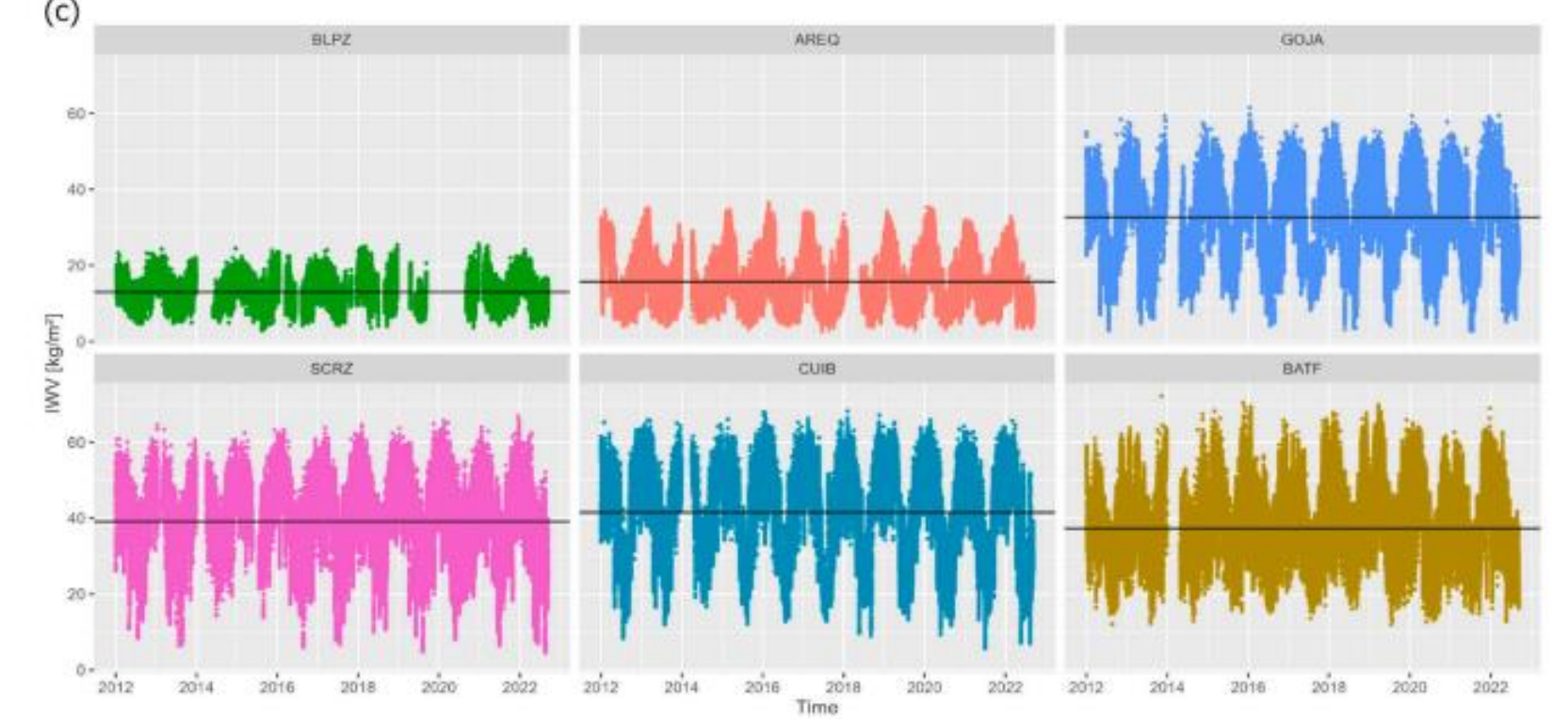
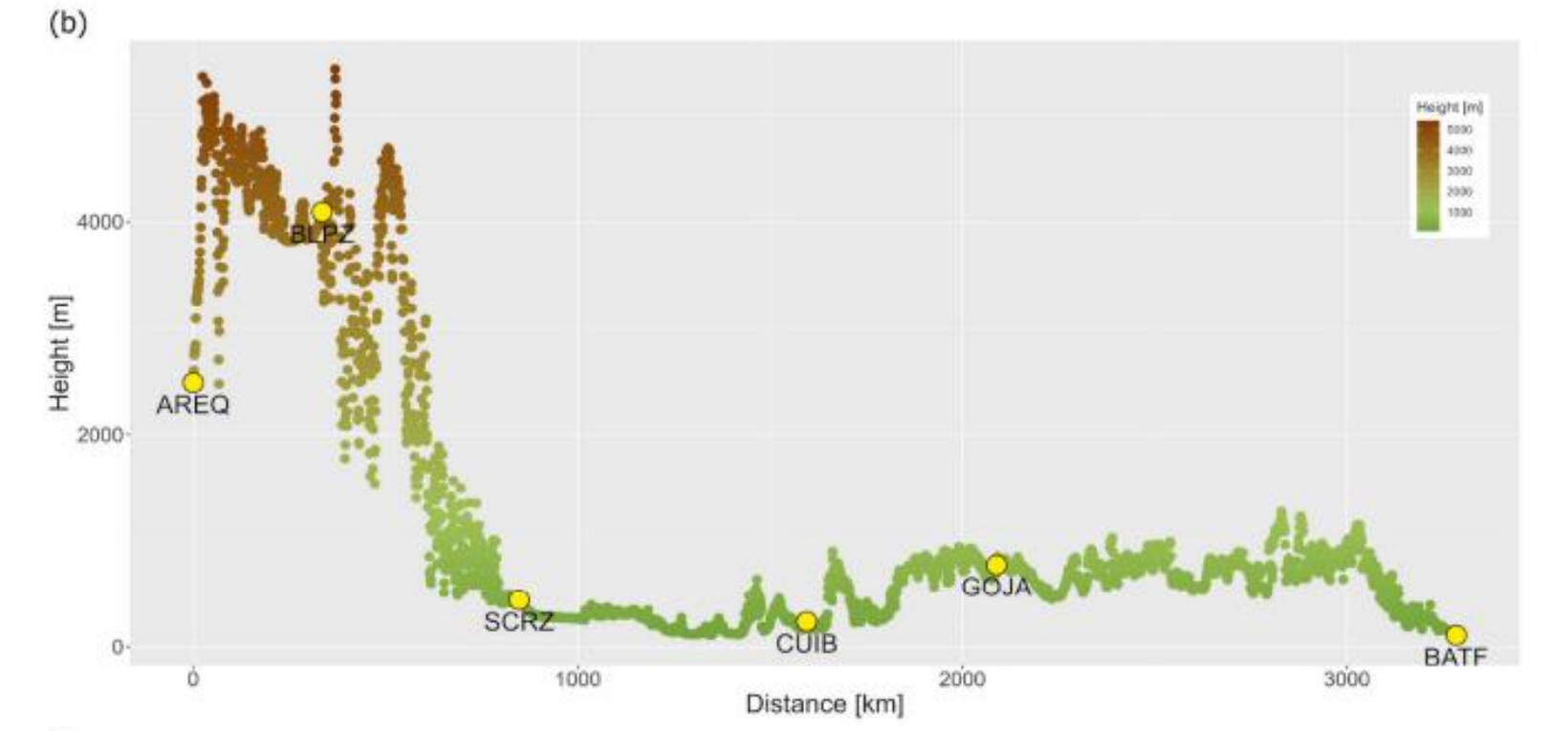
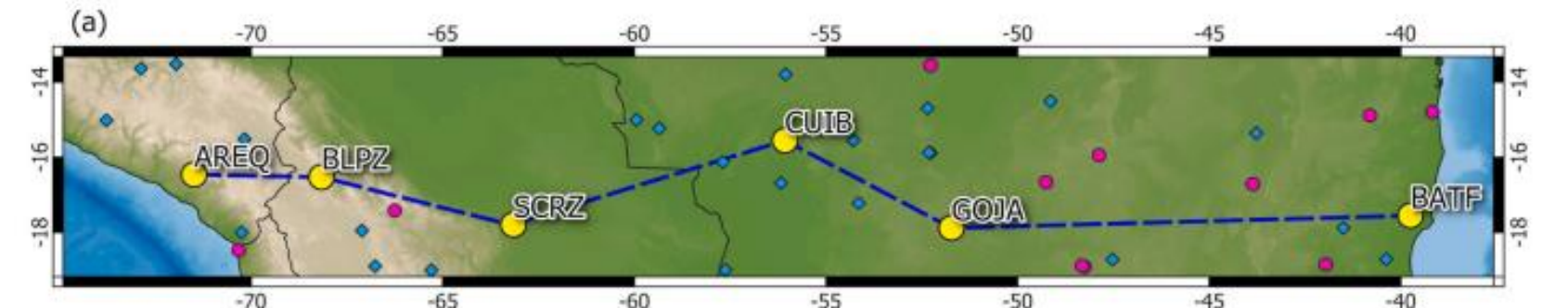


# 5 Análisis de las series de IWV

- Se analizó la influencia de la latitud en el IWV medio de cada estación SIRGAS (con mas de 7 años) y el desvío estándar como un indicador de variabilidad anual



- Se analizó la influencia de la altura en los valores del IWV



Metodología y resultados publicados en Rosell y otros 2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981123003504?via%3Dihub>

# Algunas aplicaciones en la Meteorología

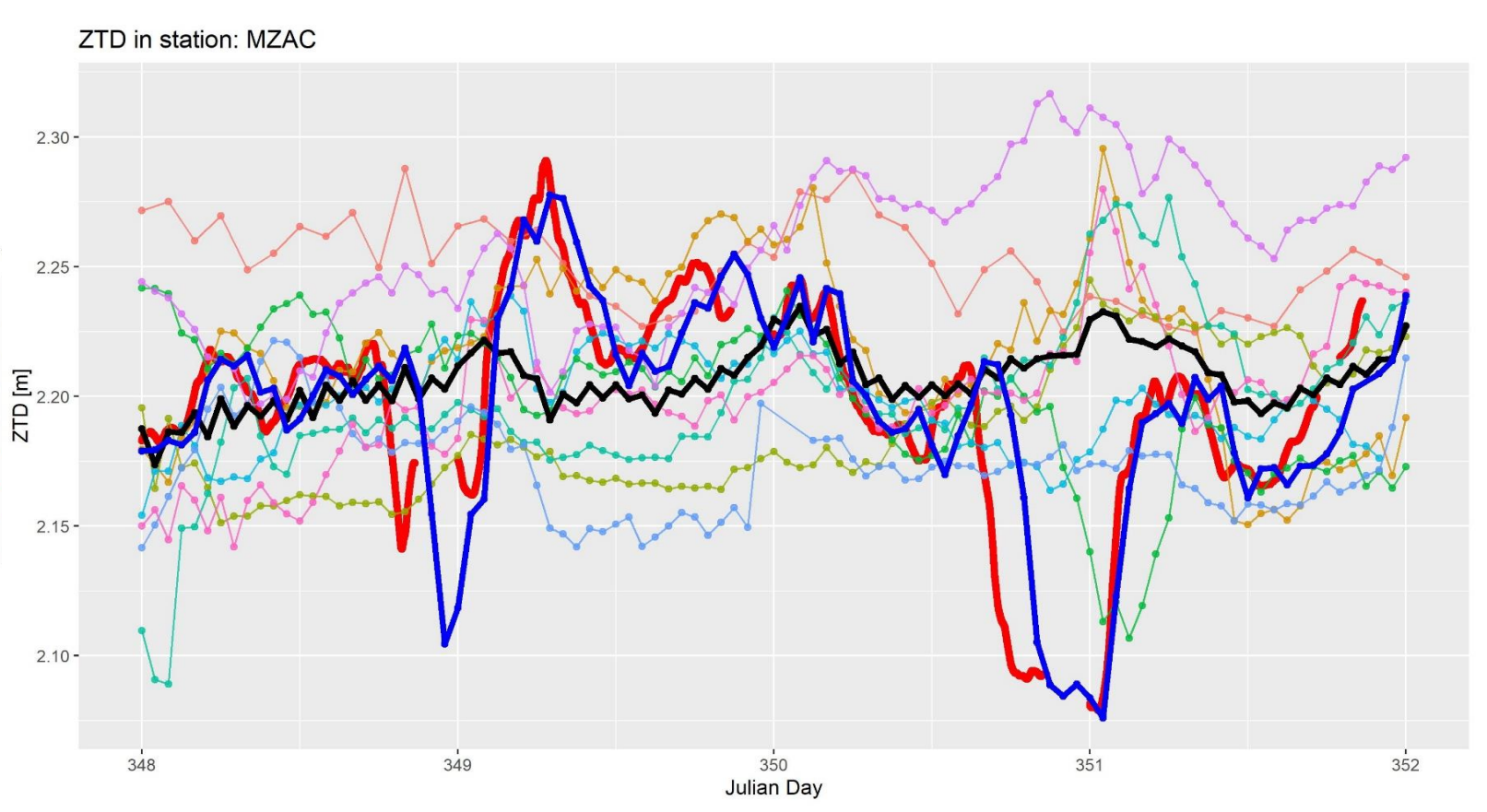
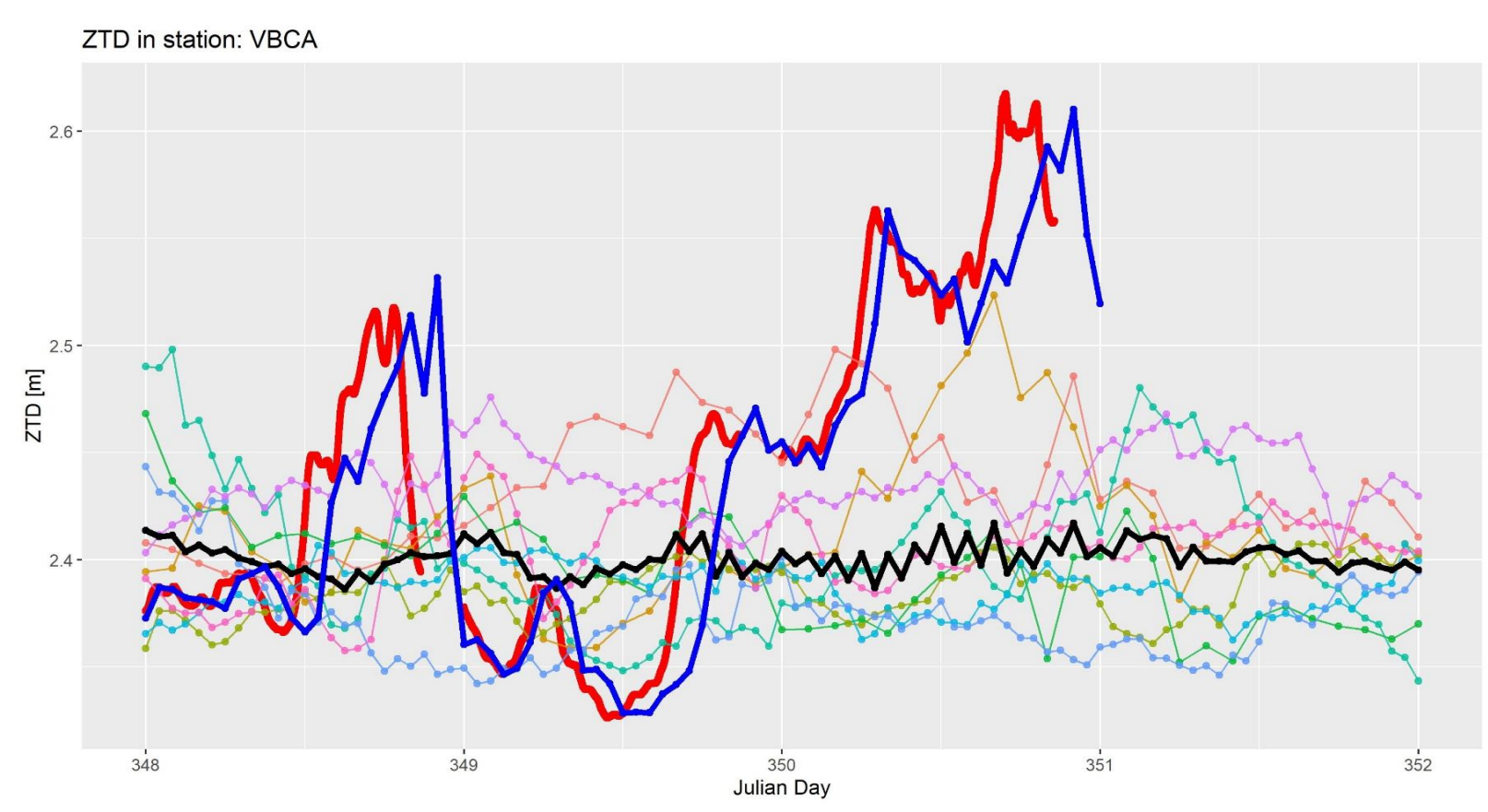
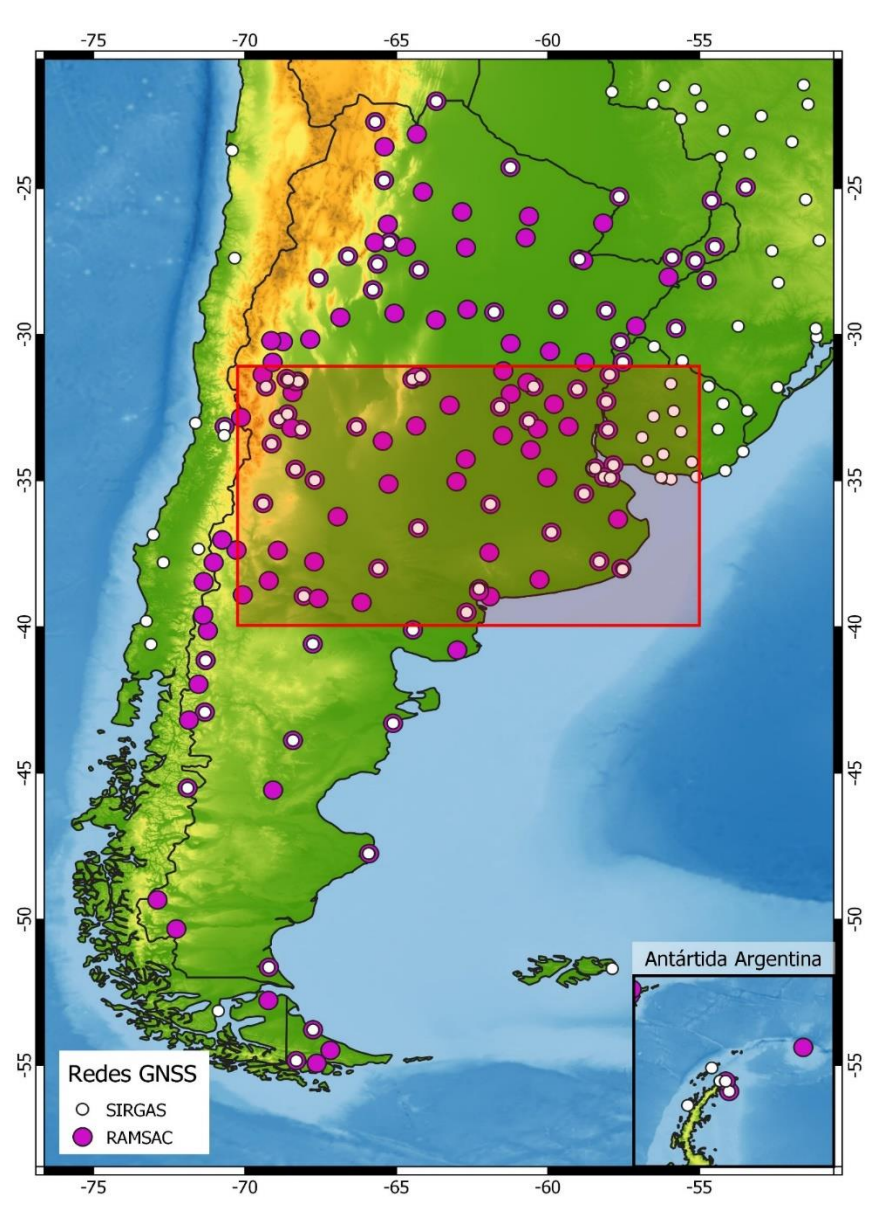
16 diciembre 2023

**ZTD-PPP: Calculado con un delay de 90 minutos**

Tormenta huracanada Bahía Blanca, BsAs.

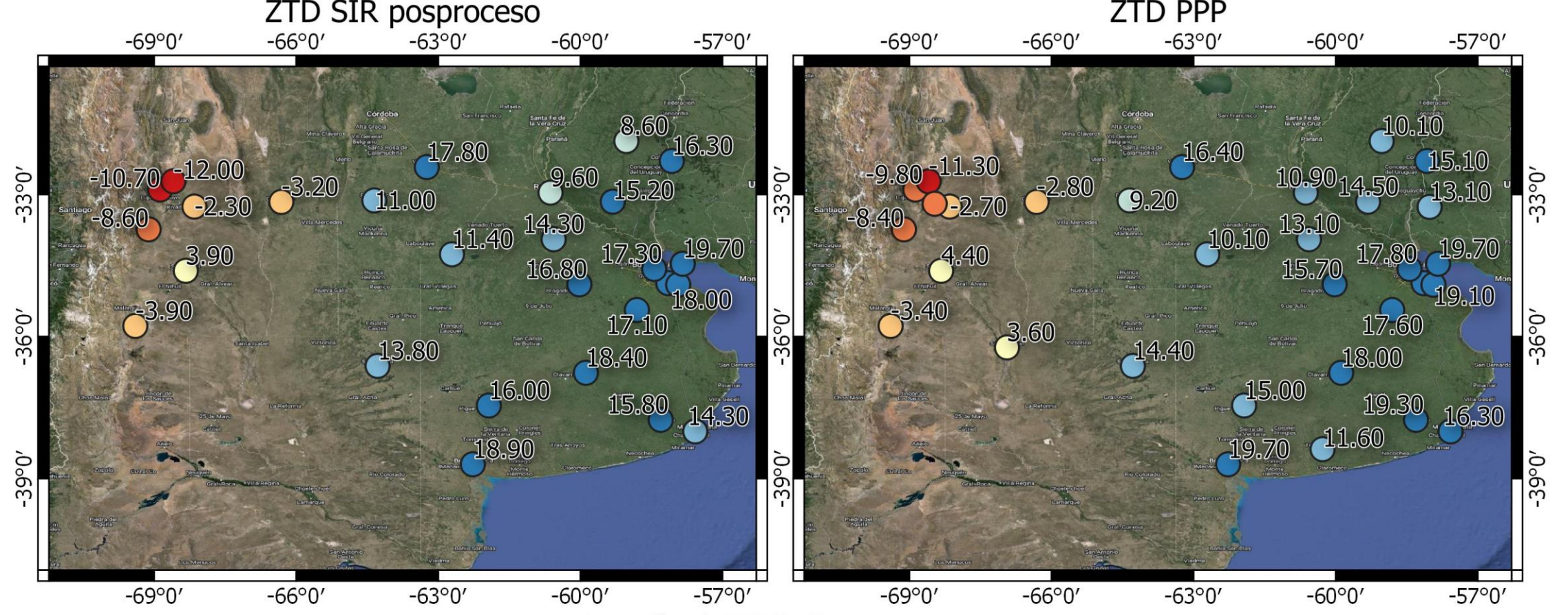
Viento Zonda en Cuyo, Mendoza

*Estaciones GNSS operativas en la región - Zona de estudio*



*Series (14 al 18 de diciembre) ZTD<sub>SIR,2023</sub> (azul), ZTD<sub>PPP,2023</sub> (rojo),  $\overline{ZTD_{SIR}}$  (negro)*

Anomalías del 16/12/2023, 20 UTC, respecto a valores medios de ZTD SIR (2014-2022)



*(Presentado en AAGG 2024  
Abril 2024, Rosell et. al)*

# 6 Conclusiones 1

- Se ha logrado calcular la serie de  $ZTD_{SIR}$  e  $IWV_{SIR}$  en alrededor de 650 estaciones GNSS, distribuidas en América y Antártida, para un periodo de 22 años (2002 al 2024)
- Se recuperaron las series históricas de 2002 al 2014 unificando el marco de referencia a IGS14.
- Se han validado las series de  $ZTD_{SIR}$  e  $IWV_{SIR}$  con respecto a radiosondeos en 64 estaciones (colocalizadas dentro de 35km), logrando un coeficiente de correlación medio de 0,97
- Se ha analizado la variabilidad del IWV en función de la latitud y de la altura, considerando factores característicos al valor medio de IWV, desvío estándar y horario de máxima y mínima. Se han publicado los resultados obtenidos
- Se está optimizando la metodología del calculo del IWV.
- Seguimos calculando semanalmente el  $ZTD_{SIR}$  e  $IWV_{SIR}$
- Se identificaron en las series temporales del ZTD aumentos y disminuciones anómalos frente a eventos severos, entre -15 cm a +25 cm.
- Considerando la magnitud de las anomalías en los eventos estudiados, se concluye que es posible utilizar el ZTD estimado mediante PPP para detectarlas, ya que resultan 10 veces más grandes que la precisión de la técnica (2cm).

# Referencias

- Rosell P. A. , Mackern M. V., Eulliades P. Aportes al análisis y cálculo del ZTD en base a redes geodésicas y modelos atmosféricos , Vol. 7 Núm. 9 (2023), 24-35: Revista ICU. Investigación, Ciencia y Universidad (ICU) - Número especial – Agrimensura ISSN 2525-1783. Recuperado a partir de <https://revistas.umaza.edu.ar/icu/article/view/436/342>
- Rosell P. A., Mackern M. V., Rivera J.A., Eulliades P., (2023). 10-year assessment of GNSS Integrated Water Vapour in the SIRGAS Network. Journal of South American Earth Sciences, 130, 104539, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104539>.
- Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Morichetti P.V. (2020) Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America. In: Freymueller, J.T., Sánchez, L. (eds) Beyond 100: The Next Century in Geodesy. International Association of Geodesy Symposia, vol 152. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/1345\\_2020\\_121](https://doi.org/10.1007/1345_2020_121)

# ¡MUCHAS GRACIAS!