

Productos troposféricos de SIRGAS.

Avances en 2019-2020 y perspectivas futuras

CIMA, Centro de Procesamiento Ingeniería Mendoza Argentina

M. V. Mackern ^(1,2,3), M.L. Mateo^(1,2), M. F. Camisay ^(1,2), P. A. Rosell^(1,2,3), G. Granados⁽¹⁾, P.V. Morichetti⁽²⁾

Becarios alumnos: T. Weidman⁽²⁾ y A. González⁽²⁾

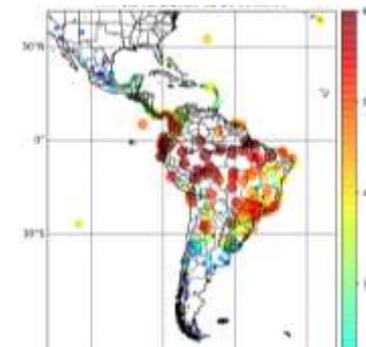
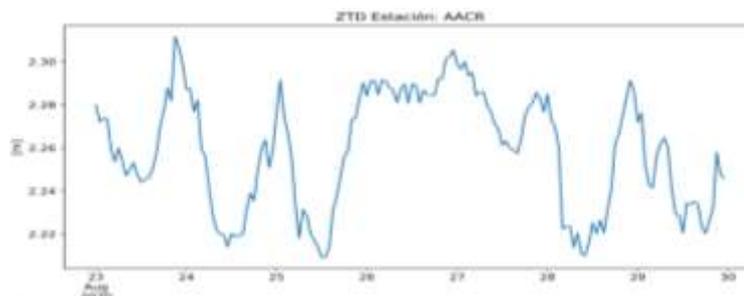
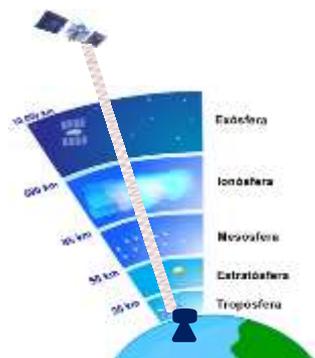
vmackern@mendoza-conicet.gob.ar



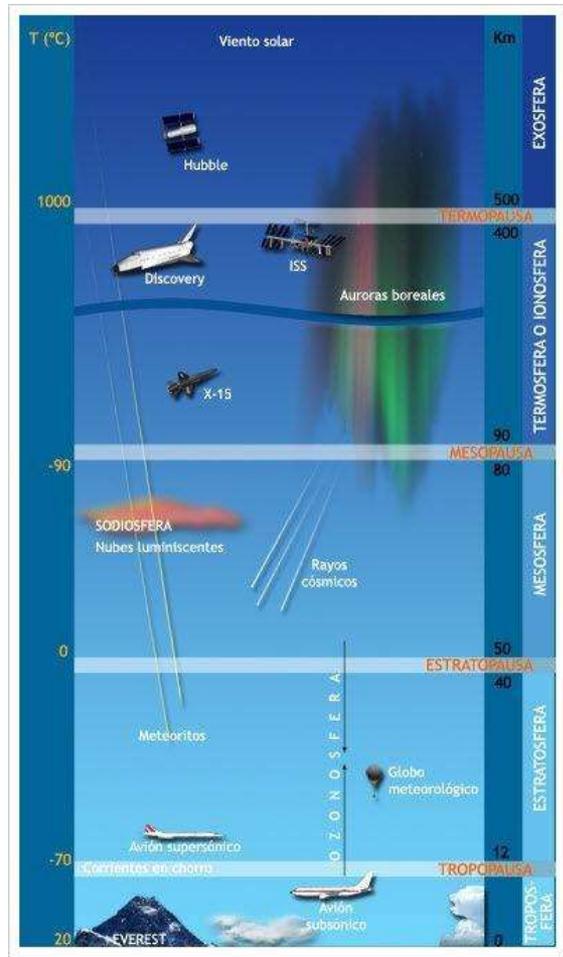
(1) Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo

(2) Facultad de Ingeniería. Universidad Juan A. Maza.

(3) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Argentina



Capas de la atmósfera que influyen sobre la señal GNSS

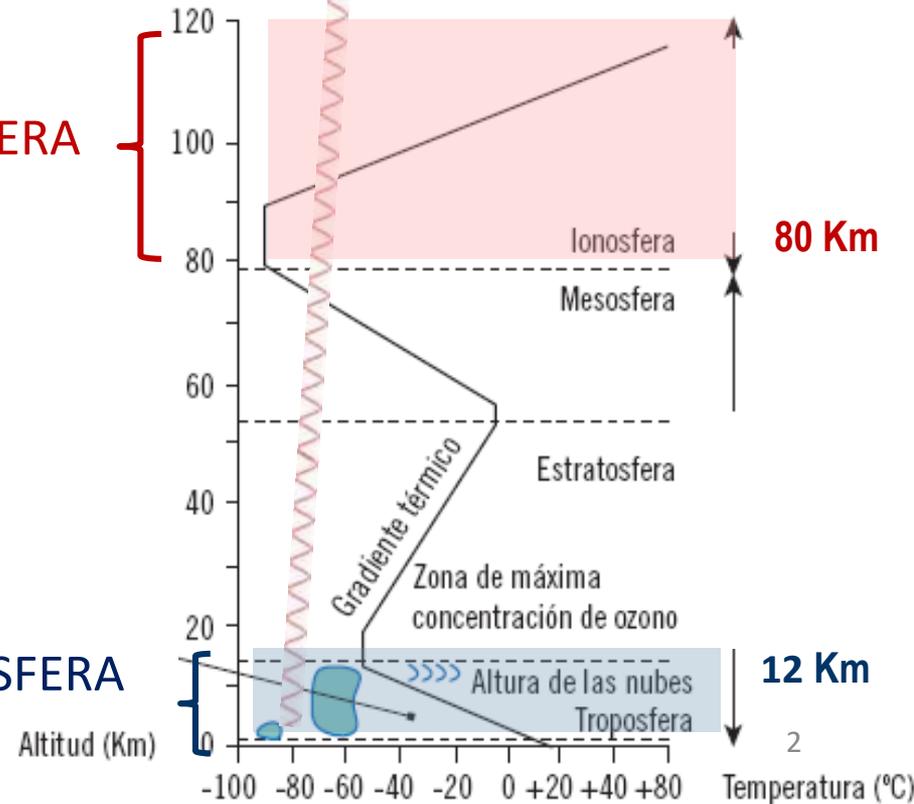


IONOSFERA

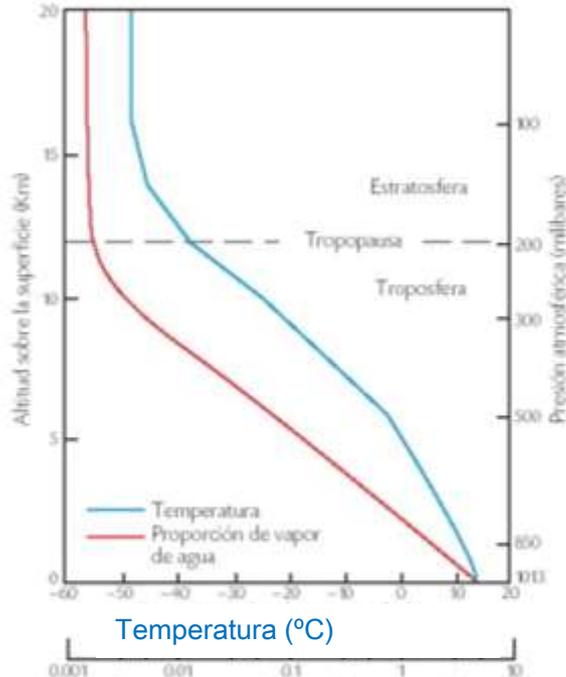
TROPOSFERA



GNSS A 20.000 Km



https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/58_3/PDF/06-546.pdf



Proporción de vapor de agua (g/ Kg)

Tomado de: Copyright 1993, American Geophysical Union (AAUO),
Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland

$$\frac{\text{masa WV (g)}}{\text{masa de aire seco (kg)}}$$

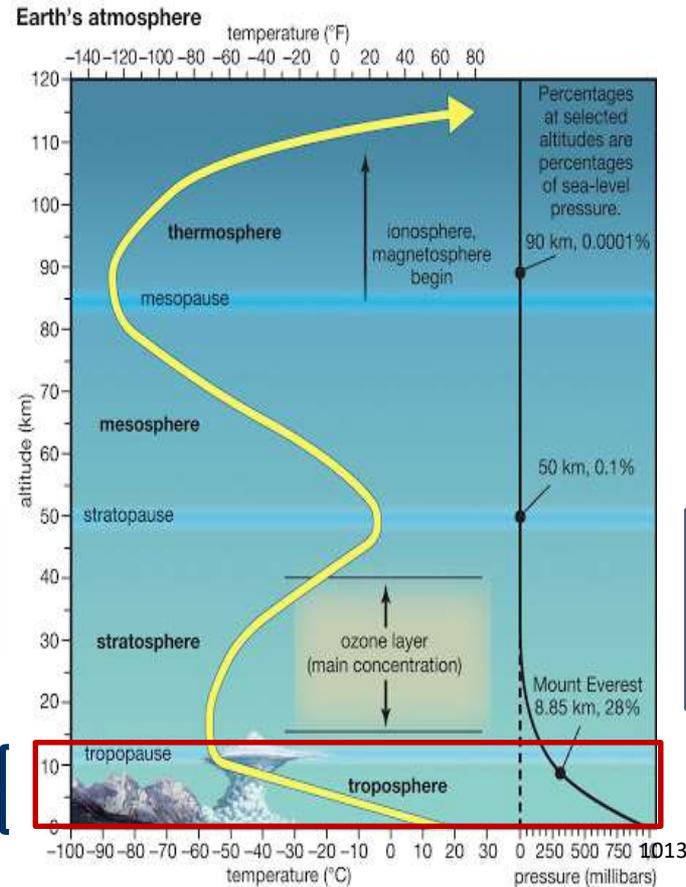
EL VAPOR DE AGUA disminuye con la altura

La **TEMPERATURA** disminuye con la altura

TROPOSFERA

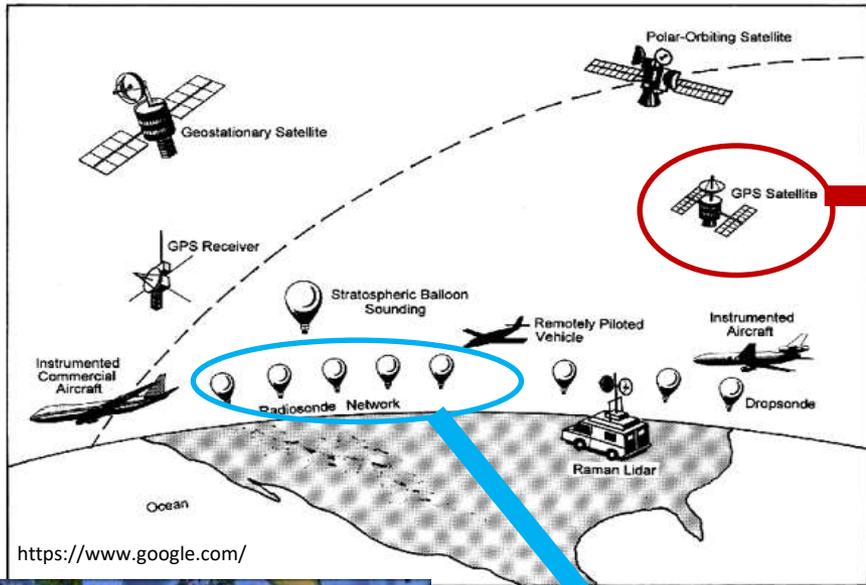
EL VAPOR DE AGUA EN LA ATMÓSFERA ES MUY IMPORTANTE. SIN EL NO HABRÍA VIDA.

- Retiene el calor atmosférico
- Facilita la respiración
- Regula el clima del planeta
- Conserva la vegetación del suelo



La **PRESIÓN ATMOSFÉRICA** disminuye con la altura

Técnicas utilizadas para medir Vapor de agua



GNSS

desde Davis et al.,1985, Bevis et al., 1992

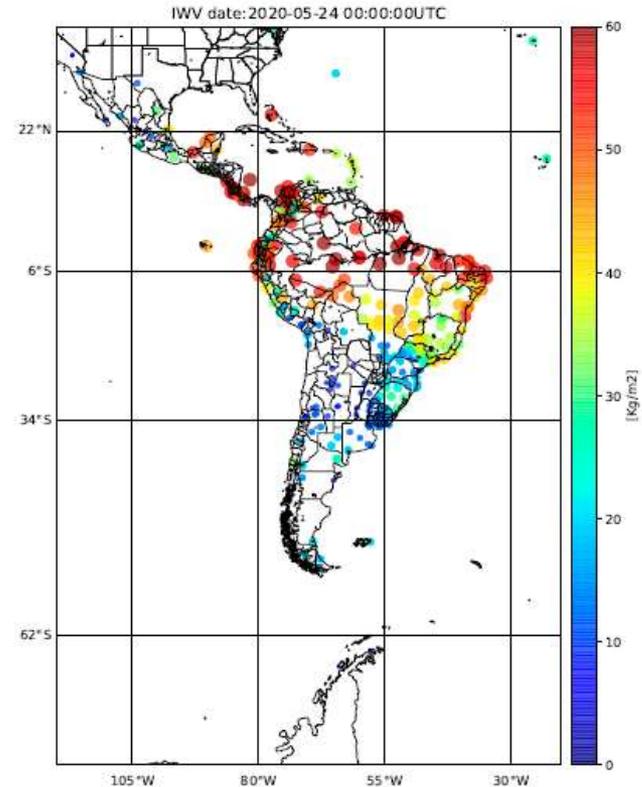
Redes GNSS existentes

Cada/1h

En SIRGAS-CON mas de 400 GNSS

<https://www.google.com/>

Radiosondeos desde 1930
Técnica costosa
0 y 12 hs UTC
En América del Sur 55 RS



<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.>

ZTD: Zenit Total Delay

Estimación de ZTD en el procesamiento semanal de SIRGAS

Estrategia desde 2014 a la fecha

	OPERATIONAL SIRGAS PROCESSING	
Software	Bernese v5.2	
Observations	GPS+GLONASS	
Sampling interval	30 seconds	
Orbits and EOP	Final IGS products	igswwwD.sp3 igswww7.erp
Clock correction		
A-priori toposphere modeling and mapping function	Pre-processing	GMF (Böhm et al., 2007) and VMF (Böhm et al., 2006)
	Parameter estimation	VMF + Gridded VMF1 coefficients (00, 06 12 and 18 UTC)
	Estimation of horizontal gradients	CHENHER: Model described in Chen and Herring (1997) (24 hours)
	Parameter spacing	1 or 2 hours

ZTD c/1h,
para cada estación GNSS,
por día,
en un cálculo semanal

Un archivo por
cada Centro de
procesamiento,
por día
CCCwwwd.TRP.gz

Estimación de parámetros troposféricos en el procesamiento semanal de SIRGAS

ZTD y gradientes horizontales (**N** y **E**)
c/1h , para cada estación GNSS procesada

Daily solution (GPS+GLO) for 21210 (CRD+TRP)

21-SEP-20 11:19

A PRIORI MODEL: -17 MAPPING FUNCTION: 8 GRADIENT MODEL: 4 MIN. ELEVATION: 3 TABULAR INTERVAL: 3600 / 86400

STATION NAME	FLG	YYYY MM DD HH MM SS	YYYY MM DD HH MM SS	MOD_U	CORR_U	SIGMA_U	TOTAL_U	CORR_N	SIGMA_N	CORR_E	SIGMA_E
AACR 40612M001	A	2020 08 30 00 00 00		2.0262	0.20149	0.00111	2.22766	-0.00051	0.00005	-0.00067	0.00006
AACR 40612M001	A	2020 08 30 01 00 00		2.0265	0.21807	0.00065	2.24454	-0.00051	0.00005	-0.00065	0.00005
AACR 40612M001	A	2020 08 30 02 00 00		2.0268	0.21842	0.00057	2.24520	-0.00052	0.00004	-0.00062	0.00005
AACR 40612M001	A	2020 08 30 03 00 00		2.0271	0.23875	0.00063	2.26582	-0.00053	0.00004	-0.00060	0.00005
AACR 40612M001	A	2020 08 30 04 00 00		2.0274	0.22590	0.00057	2.25328	-0.00053	0.00004	-0.00058	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 05 00 00		2.0277	0.21421	0.00060	2.24189	-0.00054	0.00004	-0.00055	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 06 00 00		2.0280	0.19293	0.00061	2.22091	-0.00054	0.00004	-0.00053	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 07 00 00		2.0276	0.18604	0.00051	2.21365	-0.00055	0.00003	-0.00051	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 08 00 00		2.0273	0.18832	0.00047	2.21557	-0.00055	0.00003	-0.00048	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 09 00 00		2.0269	0.18379	0.00052	2.21068	-0.00056	0.00003	-0.00046	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 10 00 00		2.0265	0.16852	0.00056	2.19505	-0.00056	0.00003	-0.00044	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 11 00 00		2.0262	0.16107	0.00057	2.18723	-0.00057	0.00003	-0.00041	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 12 00 00		2.0258	0.15235	0.00059	2.17815	-0.00057	0.00003	-0.00039	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 13 00 00		2.0259	0.16371	0.00059	2.18956	-0.00058	0.00003	-0.00037	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 14 00 00		2.0259	0.16903	0.00065	2.19493	-0.00059	0.00003	-0.00034	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 15 00 00		2.0260	0.16392	0.00062	2.18988	-0.00059	0.00003	-0.00032	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 16 00 00		2.0260	0.17147	0.00059	2.19749	-0.00060	0.00003	-0.00030	0.00003
AACR 40612M001	A	2020 08 30 17 00 00		2.0261	0.18950	0.00059	2.21558	-0.00060	0.00003	-0.00027	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 18 00 00		2.0261	0.19037	0.00062	2.21650	-0.00061	0.00004	-0.00025	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 19 00 00		2.0256	0.19311	0.00060	2.21872	-0.00061	0.00004	-0.00023	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 20 00 00		2.0251	0.19358	0.00054	2.21867	-0.00062	0.00004	-0.00021	0.00004
AACR 40612M001	A	2020 08 30 21 00 00		2.0246	0.18927	0.00061	2.21385	-0.00062	0.00004	-0.00018	0.00005
AACR 40612M001	A	2020 08 30 22 00 00		2.0241	0.16677	0.00055	2.19083	-0.00063	0.00005	-0.00016	0.00005
AACR 40612M001	A	2020 08 30 23 00 00		2.0235	0.18229	0.00069	2.20583	-0.00063	0.00005	-0.00014	0.00005
AACR 40612M001	A	2020 08 31 00 00 00		2.0230	0.18026	0.00103	2.20328	-0.00064	0.00005	-0.00011	0.00006
ABCC 41939M001	A	2020 08 30 00 00 00		1.7137	0.16053	0.00119	1.87420	-0.00248	0.00005	0.00055	0.00008
ABCC 41939M001	A	2020 08 30 01 00 00		1.7140	0.15007	0.00076	1.86407	-0.00236	0.00005	0.00043	0.00007
ABCC 41939M001	A	2020 08 30 02 00 00		1.7143	0.13698	0.00071	1.85129	-0.00225	0.00005	0.00031	0.00007
ABCC 41939M001	A	2020 08 30 03 00 00		1.7146	0.13344	0.00069	1.84808	-0.00213	0.00005	0.00019	0.00007
ABCC 41939M001	A	2020 08 30 04 00 00		1.7150	0.13644	0.00065	1.85140	-0.00201	0.00004	0.00007	0.00006

24 ZTD

AACR

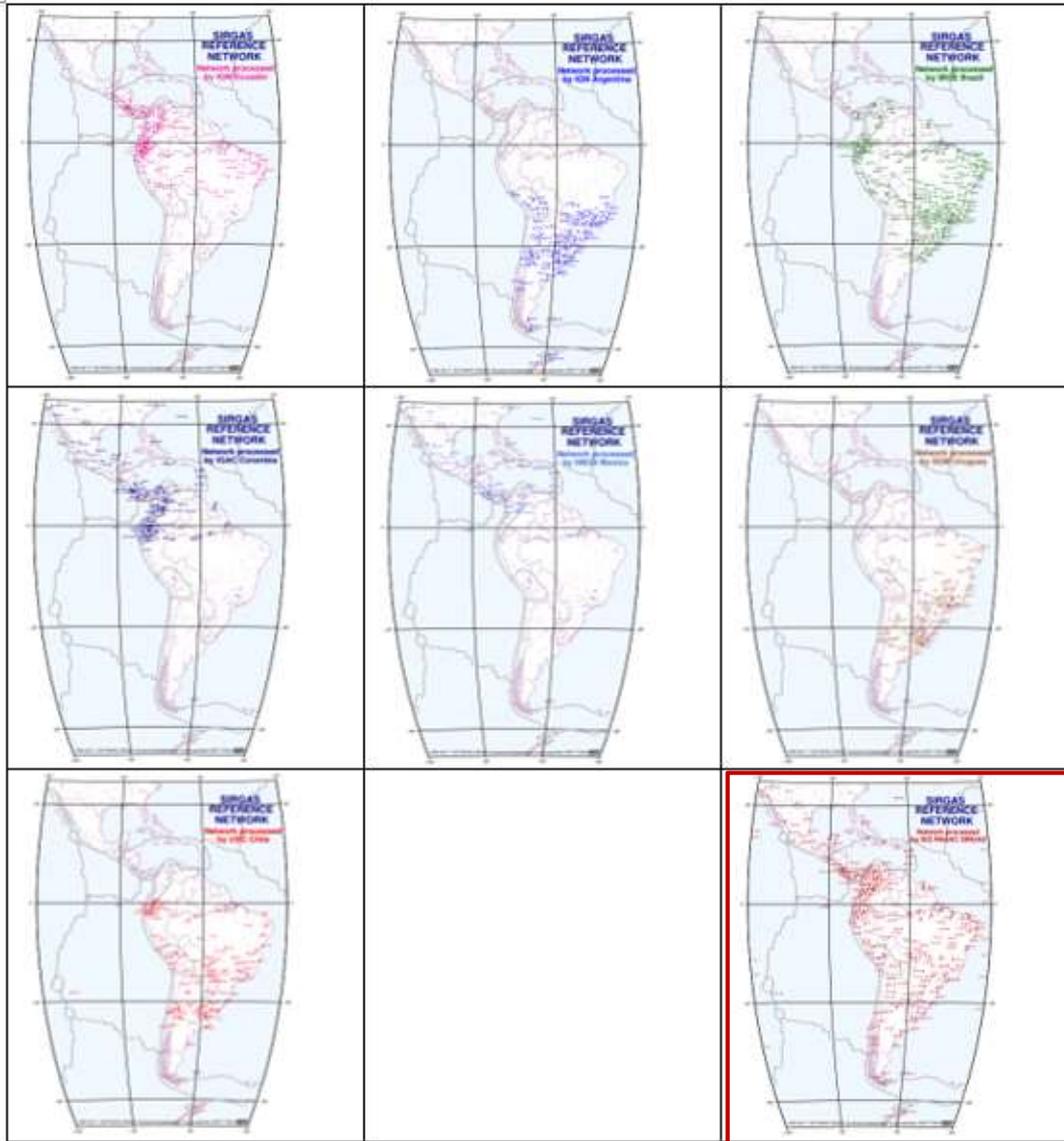
ABCC

Estimación de parámetros troposféricos en el procesamiento semanal de SIRGAS

SIRGAS AC	Country	Institution	Software used	Start	End
DGF	Germany	Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen Universität München	BSW52	27 Apr. 2014	-
ECU	Ecuador	Instituto Geográfico Militar	BSW52	21 Dec. 2014	-
IBG	Brasil	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	BSW52	27 Apr. 2014	-
IGA	Colombia	Instituto Geográfico Agustín Codazzi	BSW52	21 Dec. 2014	-
CHL	Chile	Instituto Geográfico Militar	BSW52	27 Apr. 2014	-
URY	Uruguay	Instituto Geográfico Militar	BSW52	27 Apr. 2014	-
LUZ	Venezuela	Universidad de Zulia	BSW52	14 Dec. 2014	9 Feb. 2019
UNA	Costa Rica	Universidad Nacional de Costa Rica	BSW52	1 Jan. 2014	29 Dec. 2018
USC	Chile	Universidad de Santiago	BSW52	2 Sep. 2018	
GNA	Argentina	Instituto Geográfico Nacional	GAMIT	27 Apr. 2014	

**8 Centros de
Procesamiento**

La distribución de estaciones en subredes genera redundancia



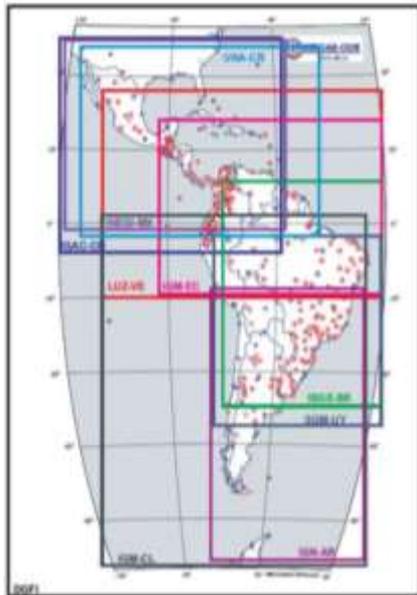
**7 subredes
+ SIRGAS-CON-C**

8 Centros de Procesamiento

META:
que cada estación sea
procesada por 3 o mas CP

**La redundancia en los ZTD
permite AJUSTAR**

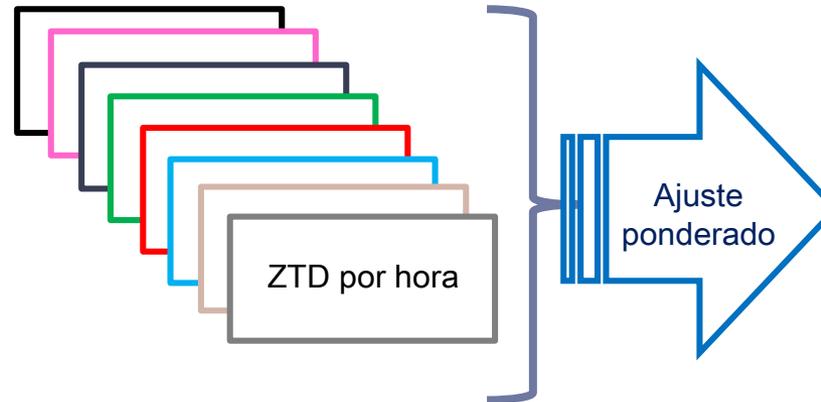
Ajuste ponderado de ZTD



TUM



IBGE



24 ZTDs diarios por estación
8 Centros de procesamiento SIRGAS
3 valores de ZTD para cada estación por hora

**Productos
troposféricos de
SIRGAS**

ZTD p/h ; σ_{ZTD}

≅ 400 estaciones
GNSS
Desde el 2014

**Filtro $\sigma > 0,02$ m
descartados**

Precisión de los ZTD finales de SIRGAS:
RMS promedio 1mm
(en el 90% de valores estimados)

ZTD p/h ; σ_{ZTD}
≅ 400 estaciones GNSS
Período analizado 5 años (2014-2018)

Filtro $\sigma > 0,02$ m
21% de valores
descartados

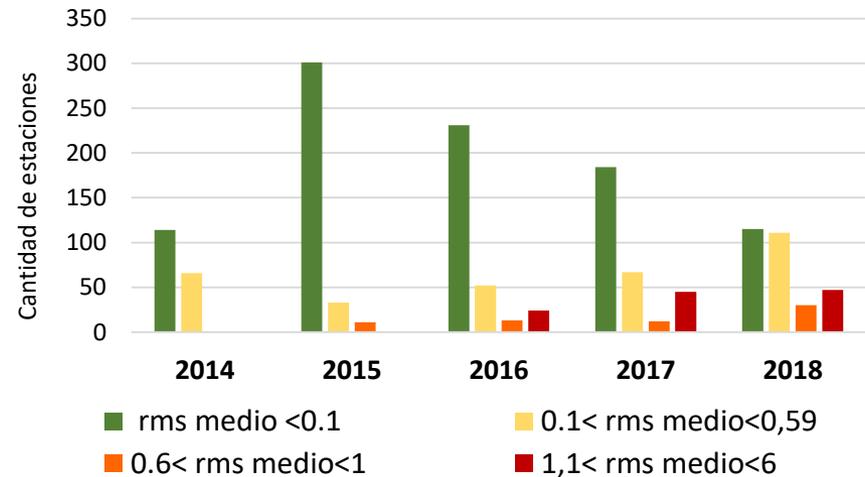


\equiv ZTD p/h ; σ_{ZTD}
400 estaciones GNSS
5 años (2014-2018)

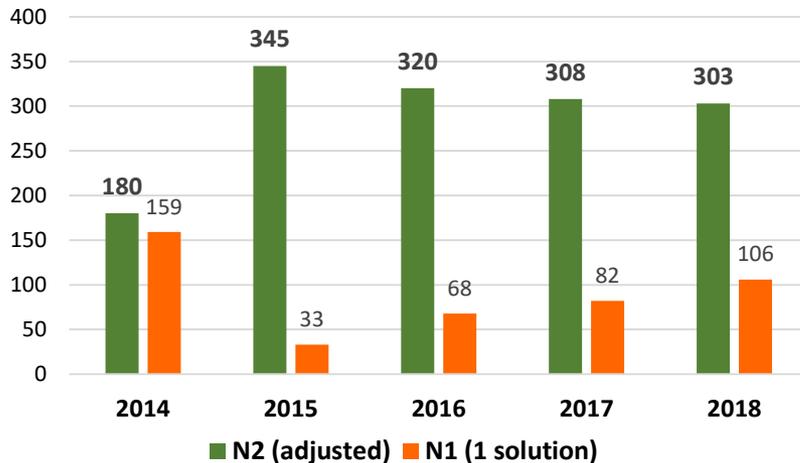
Análisis de la precisión interna de ZTD finales de SIRGAS

Año	Ajustadas/Total	%	rms [mm]
2014	180/339	53	0,15
2015	345/378	91	0,09
2016	320/388	82	0,27
2017	308/390	79	0,43
2018	303/409	74	0,54

RMS promedio [mm]. Distribución por año



Cantidad de estaciones con ZTD ajustado



RMS promedio = 1 mm
(en el 90% de valores estimados)

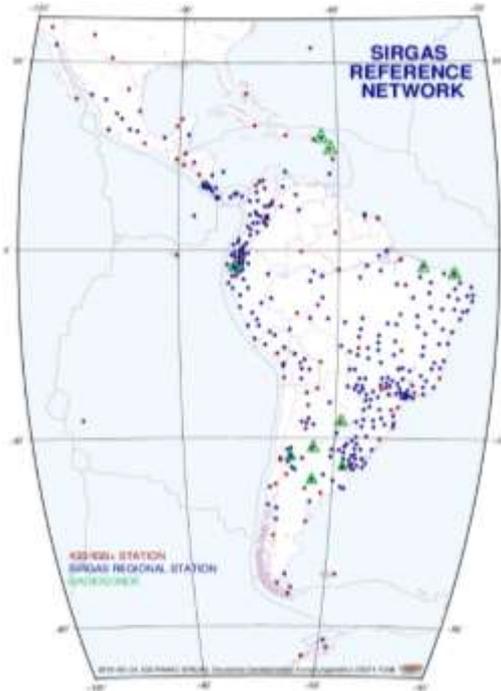
Mackern M.V. et al.,(2020). Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America. International Association of Geodesy Symposia Series, Vol 152, open access, doi: [10.1007/1345_2020_120](https://doi.org/10.1007/1345_2020_120)

Análisis de la precisión externa

Validación con ZTD desde Radiosondeos

Radiosondeos decargados desde Wyoming Weather Web
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding>.
Precipitable water [mm] for entire sounding (PW o IWV_{RS})

Askne and Nordius, 1986
Rüeger, 2002



10 estaciones
Radiosondeo/ GNSS

Input

- 1) PW_{RS} (IWV) 00 y 12 h UTC
- 2) temperature y dew-point del perfil
- 3) P_{hRS}

Output

ZTD_{RS} = ZHD + ZWD
a las 00 y 12 UTC

$$ZWD = \frac{(22.9744 + \frac{375463}{T_m}) 0.4614991785}{10^5} IWV \quad (1)$$

$$T_m = \frac{\int_H^\infty e/T dz}{\int_H^\infty e/T^2 dz} \quad (2)$$

$$ZHD = 0.002276738 \cdot \frac{P_{GNSS}}{1 - 0.00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0.28 \cdot 10^{-6} \cdot h_{GNSS}} \quad (3)$$

$$P_{GNSS} = P_{RS} (1 - 0.0000226 (h_{GNSS} - h_{RS}))^{5.225} \quad (4)$$

Berg, 1948

RS station	GNSS site	Lat. (°)	Long. (°)	h _{RS} (m)	h _{GNSS} (m)	Distance (km)
78866 (TNCM)	SMRT	18.03	-63.09	9	-32.48	3
78897 (TFFR)	ABMF	16.21	-61.41	8	-25.57	12
78807 (MPCZ)	IGNI	8.98	-79.46	19	47.56	13
82280	SALU	-2.53	-44.28	51	18.99	11
82397	CEPT	-3.59	-38.45	19	4.90	15
87155 (SARE)	CHAC	-27.36	-59.04	52	77.95	10
87418 (SAME)	MZAC	-32.83	-68.78	704	859.86	13
87623 (SAZR)	SRLP	-36.57	-64.27	191	223.83	7
87344 (SACO)	CORD	-31.32	-64.22	474	746.83	34
87576 (SAEZ)	IGMI	-34.65	-58.42	20	50.69	28

RMS promedio = 7,5 mm
(en el 0,32% del ZTD medio)
Bias medio = -2 mm
(0,09% del ZTD medio)



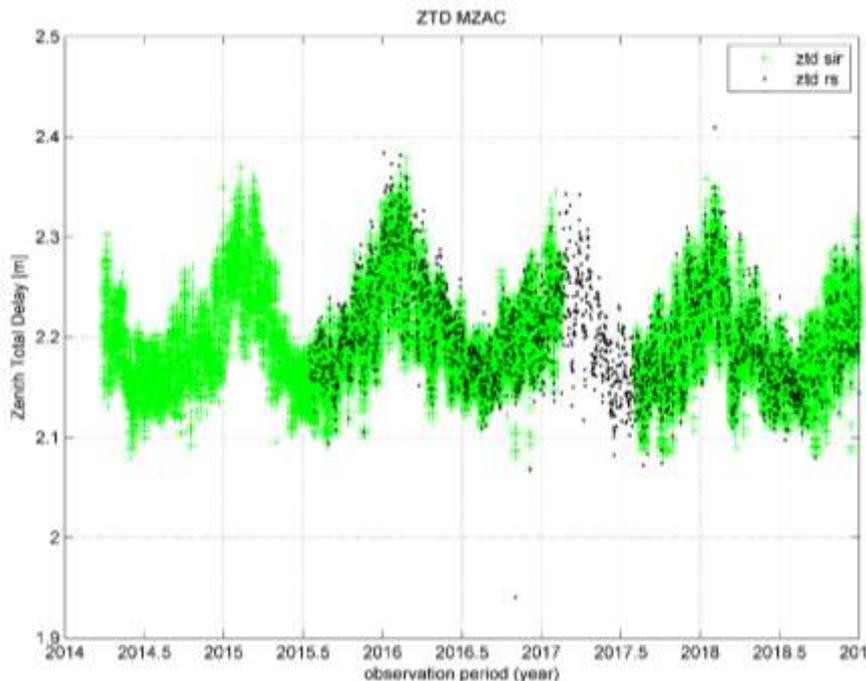
Validación con ZTD desde Radiosondeos

10 estaciones
Radiosondeo/ GNSS

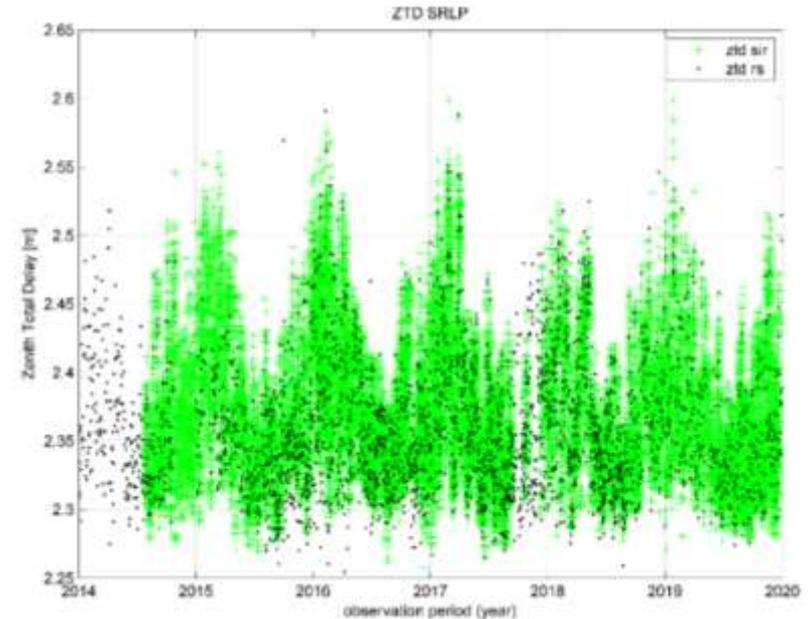
$$ZTD_{RS} = ZHD + ZWD$$

a las 00 h y 12 h UTC

$$ZTD_{SIR} \quad c/1h$$



Análisis de la precisión externa



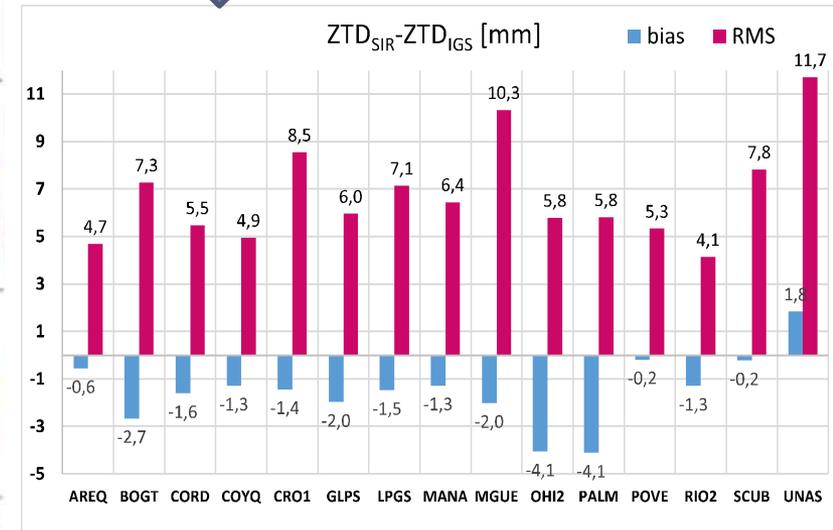
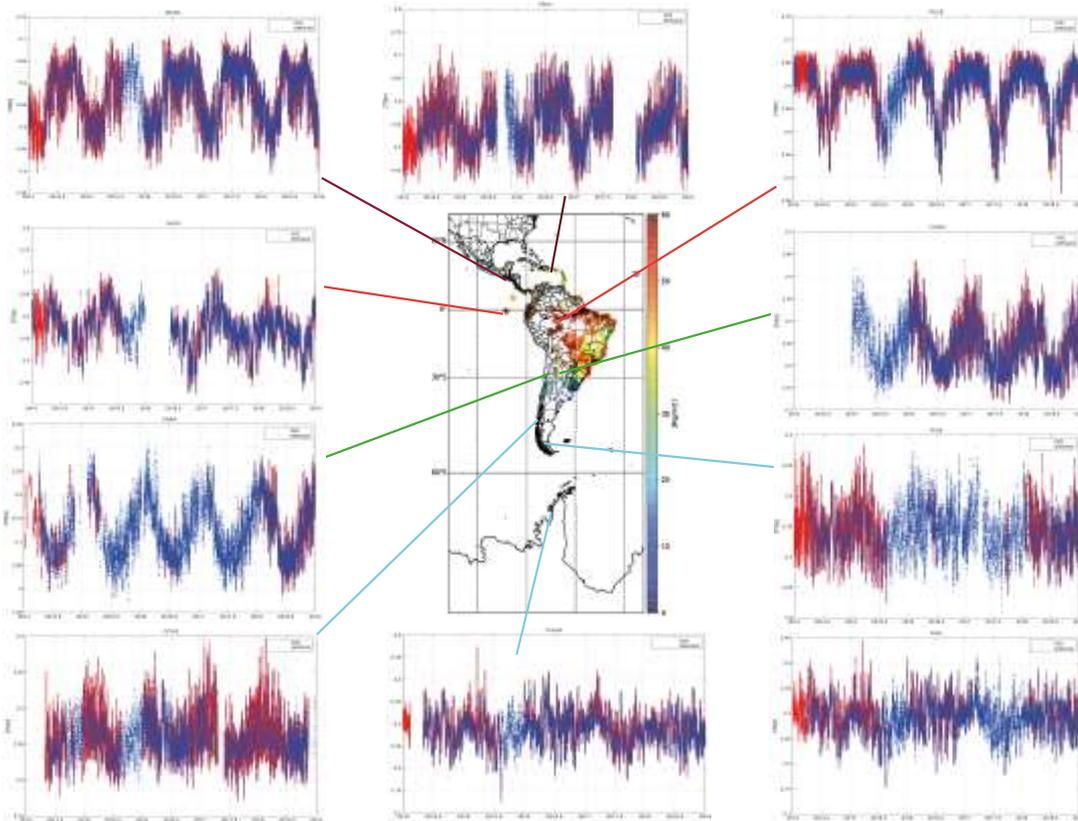
Ventajas de la técnica con GNSS

No requiere infraestructura de observación adicional
Mejor muestreo espacial y temporal que RS

RMS promedio = 7,5 mm
Bias medio = -2 mm

Validación ZTD_{SIR} con productos ZTD del IGS 15 estaciones (5años)

Análisis de la precisión externa



RMS promedio = 6,8 mm
(en el 0,29% del ZTD medio)

Bias medio = -1,5 mm
(0,07% del ZTD medio)

Requerimientos de precisión:
30 mm en ZTD
Douša and Vaclavovic (2014)

Disponibilidad de los productos troposféricos de SIRGAS

<http://www.sirgas.org/es/tropo-delays/>



Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

Home

Presentación

Organización

Sistema de referencia

Realizaciones

Red de referencia

Redes nacionales

Productos

Eventos

Publicaciones

Presentaciones

Web, Links & Contacto

hosted by:



Retrasos troposféricos

Dentro del procesamiento semanal de la red SIRGAS de Operación Continua (SIRGAS-CON), los Centros de Análisis SIRGAS estiman rutinariamente **retrasos troposféricos cenitales (ZPD)** con una frecuencia horaria de **muestreo**. Estos retrasos son los datos primarios en la generación de los **productos troposféricos de SIRGAS**, los cuales propocionan soluciones semanales combinadas del retardo troposférico para cada estación SIRGAS. Dado que la determinación de los ZPD se basa en las soluciones semanales de la red SIRGAS-CON, estaciones no incluidas en dichas soluciones son omitidas en la determinación de los ZPD.

Los productos troposféricos SIRGAS son generados por el Centro de Análisis SIRGAS para la **Atmósfera Neutral (CIMA)**, que es operado por la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo, Mendoza, Argentina)** en cooperación con la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Juan Agustín Maza (Mendoza, Argentina)** y con el apoyo del **Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Argentina (CONICET)**.

Los productos troposféricos SIRGAS se generan semanalmente con una latencia de 30 días. Estos están disponibles en formato SINEX TRO desde enero de 2014 en archivos diarios con un intervalo horario de muestreo y pueden descargarse de

<ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-ZPD/>

Mayor información en:

Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Morichetti P.V. (2020). Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America. International Association of Geodesy Symposia Series, Vol 152, open access, doi: [10.1007/1345_2020_121](https://doi.org/10.1007/1345_2020_121).

El uso de los productos troposféricos de SIRGAS implica citar esta referencia bibliográfica.

Follow us



Disponibilidad de los productos troposféricos de SIRGAS

<http://www.sirgas.org/es/tropo-delays/>

← → ↻ **No es seguro** | ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-ZPD/

← → ↻ **No es seguro** | ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-ZPD/2020/

Índice de /pub/gps/SIR Índice de /pub/gps/SIRGAS-ZPD/2020/

[directorio principal]

Nombre	Tamaño	Fecha de modificación
2014/		6/11/19 21:00:00
2015/		11/2/20 21:00:00
2016/		19/2/20 21:00:00
2017/		5/3/20 21:00:00
2018/		26/8/20 9:16:00
2019/		10/9/20 6:09:00
2020/		10/9/20 6:49:00



Por año

SSSSddd0.yyzpd.gz

Por ejemplo:

[AACR0360.20zpd.gz](#)

[AGGO0360.20zpd.gz](#)

Igual formato que IGS

[directorio principal]

Nombre	Tamaño	Fecha de modificación
001/		10/9/20 6:31:00
002/		10/9/20 6:31:00
003/		10/9/20 6:31:00
004/		10/9/20 6:31:00
005/		10/9/20 6:31:00
006/		10/9/20 6:32:00
007/		10/9/20 6:32:00
008/		10/9/20 6:32:00
009/		10/9/20 6:32:00
010/		10/9/20 6:32:00
011/		10/9/20 6:32:00
012/		10/9/20 6:32:00
013/		10/9/20 6:32:00
014/		10/9/20 6:32:00
015/		10/9/20 6:33:00
016/		10/9/20 6:33:00
017/		10/9/20 6:33:00
018/		10/9/20 6:33:00
019/		10/9/20 6:33:00
020/		10/9/20 6:33:00
021/		10/9/20 6:33:00
022/		10/9/20 6:33:00
023/		10/9/20 6:33:00
024/		10/9/20 6:34:00
025/		10/9/20 6:34:00
026/		10/9/20 6:34:00
027/		10/9/20 6:34:00
028/		10/9/20 6:34:00
029/		10/9/20 6:34:00
030/		10/9/20 6:34:00
031/		10/9/20 6:34:00
032/		10/9/20 6:35:00
033/		10/9/20 6:35:00
034/		10/9/20 6:35:00
035/		10/9/20 6:35:00
036/		10/9/20 6:35:00
037/		10/9/20 6:35:00
038/		10/9/20 6:35:00
039/		10/9/20 6:35:00
040/		10/9/20 6:35:00
041/		10/9/20 6:36:00
042/		10/9/20 6:36:00
043/		10/9/20 6:36:00



**Por día
GPS**

← → ↻ **No es seguro** | ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-ZPD/2020/036/

Índice de /pub/gps/SIRGAS-ZPD/2020/036/

[directorio principal]

Nombre	Tamaño	Fecha de modificación
<input type="checkbox"/> AACR0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ABCC0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ABMF0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ABPD0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ABPW0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AGGO0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ALAR0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ALBE0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ALEC0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ALMA0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AM040360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AMCO0360.20zpd.gz	1.1 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AMHA0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AMTE0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AMUA0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AN020360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ANDS0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AP010360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> APLJ0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> APMA0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> APS10360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AQ010360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> ARCA0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AREQ0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AUTF0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AY020360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> AZUL0360.20zpd.gz	1.1 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> BABJ0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00
<input type="checkbox"/> BARR0360.20zpd.gz	1.2 kB	10/9/20 6:35:00

**Archivos
por estación
por día**

MZAC2000.20zpd: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

%T=TRO 0.01 XYZ 20:272:75792 IGS 20:200:00000 20:200:82800 P MZAC

```
+FILE/REFERENCE
*INFO_TYPE INFO
DESCRIPTION CENTRO DE PROCESAMIENTO MENDOZA ARGENTINA-UNCUYO
OUTPUT SIRGAS final tropospheric zenith path delay
CONTACT Maria V. Mackern - vmackern@mendoza-conicet.gob.ar
SOFTWARE Python 3.6.5 and libs
HARDWARE Ubuntu 16.04.4 LTS (GNU/Linux 4.4.0-127-generic x86_64)
INPUT ZTD SIRGAS analisis centers
-FILE/REFERENCE
```

```
+SITE/ID
*CODE PT DOME T STATION DESCRIPTION APPROX_LON APPROX_LAT APP_H
MZAC A 41503M001 P Mendoza, Argentina -68 52 32.1 -32 53 42.5 859.9
-SITE/ID
```

```
+SITE/RECEIVER
*SITE PT SOLN T DATA_START DATA_END DESCRIPTION S/N FIRMWARE
MZAC A 1 P 17:219:00001 99:365:00000 TRIMBLE NETR9
-SITE/RECEIVER
```

```
+SITE/ANTENNA
*SITE PT SOLN T DATA_START DATA_END DESCRIPTION S/N
MZAC A 1 P 17:219:00001 99:365:00000 ASH701933C_M SNOW
-SITE/ANTENNA
```

```
+SITE/GPS_PHASE_CENTER
*DESCRIPTION S/N UP NORTH EAST UP NORTH EAST
L1->ARP(M) L2->ARP(M)
-SITE/GPS_PHASE_CENTER
```

```
+SITE/ECCENTRICITY
*SITE PT SOLN T DATA_START DATA_END AXE ARP->BENCHMARK(M) UP NORTH EAST
MZAC A 1 P 17:219:00001 99:365:00000 UNE 0.0000 0.0000 0.0000
-SITE/ECCENTRICITY
```

```
+TROP/DESCRIPTION
*KEYWORD VALUE(S)
ELEVATION CUTOFF ANGLE 3
SAMPLING INTERVAL 30
SAMPLING TROP 3600
TROP MAPPING FUNCTION DRY AND WET VMF
SOLUTION_FIELDS_1 TROTOT STDDEV
-TROP/DESCRIPTION
```

```
+TROP/STA_COORDINATES
*SITE PT SOLN T STA_X STA_Y STA_Z SYSTEM REMRK
MZAC A 1 P 1932262.622 -5001226.675 -3444667.752 IGS14_XYZ
-TROP/STA_COORDINATES
```

Formato TRO: SINEX de troposfera
Ej: MZAC2000.20zpd

```
+TROP/DESCRIPTION
*KEYWORD VALUE(S)
ELEVATION CUTOFF ANGLE 3
SAMPLING INTERVAL 30
SAMPLING TROP 3600
TROP MAPPING FUNCTION DRY AND WET VMF
SOLUTION_FIELDS_1 TROTOT STDDEV
-TROP/DESCRIPTION
```

```
+TROP/STA_COORDINATES
*SITE PT SOLN T STA_X STA_Y STA_Z SYSTEM REMRK
MZAC A 1 P 1932262.622 -5001226.675 -3444667.752 IGS14_XYZ
-TROP/STA_COORDINATES
```

```
+TROP/SOLUTION
*SITE EPOCH TROTOT STDDEV
MZAC 20:200:00000 2135.150 01.210
MZAC 20:200:03600 2142.030 00.570
MZAC 20:200:07200 2147.670 00.580
MZAC 20:200:10800 2139.760 00.550
MZAC 20:200:14400 2144.730 00.580
MZAC 20:200:18000 2144.250 00.620
MZAC 20:200:21600 2140.540 00.520
MZAC 20:200:25200 2143.990 00.560
MZAC 20:200:28800 2148.270 00.630
MZAC 20:200:32400 2154.400 00.620
MZAC 20:200:36000 2157.390 00.570
MZAC 20:200:39600 2154.970 00.590
MZAC 20:200:43200 2161.380 00.540
MZAC 20:200:46800 2166.180 00.520
MZAC 20:200:50400 2161.960 00.590
MZAC 20:200:54000 2161.200 00.610
MZAC 20:200:57600 2166.030 00.670
MZAC 20:200:61200 2162.640 00.640
MZAC 20:200:64800 2162.070 00.670
MZAC 20:200:68400 2162.690 00.590
MZAC 20:200:72000 2159.910 00.570
MZAC 20:200:75600 2165.310 00.560
MZAC 20:200:79200 2164.050 00.540
MZAC 20:200:82800 2163.060 00.630
-TROP/SOLUTION
%=ENDTRO
```

Encabezado

ZTD
TROTOT
STDDEV

Vapor de Agua integrado (IWV)

Estrategia de cálculo

ZTD (GNSS) c/1h, delay 21 días,
Pmsl , 2mT (ERA5) c/1h , delay 5 días

Input

Ajuste ponderado

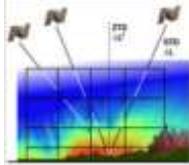
ZTD

ZWD = ZTD - ZHD

IWV = Π · ZWD

Output

IWV
c/ 1h, delay 28 días



Berg, 1948

$$P_{GNSS} = P_{ref} \cdot (1 - 0,0000226 \cdot (h_{GNSS} - h_{ref}))^{5,225}$$

$$ZHD = 0,002276738 \cdot \frac{P_{GNSS}}{1 - 0,00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0,28 \cdot 10^{-6} \cdot h_{GNSS}}$$

Davis, 1985

$$\Pi = \frac{10^5}{\left(22,9744 + \frac{375463}{T_m}\right) \cdot 0,4614991785}$$

Mendes, 1999

$$T_m = 50,4 + 0,789 \cdot T_s$$

Askne and Nordius, 1986
Rüeger, 2002

Mean sea level pressure

"ERA5 hourly estimates of variables on single levels"



ERA5

2m Temperature

Unidades:

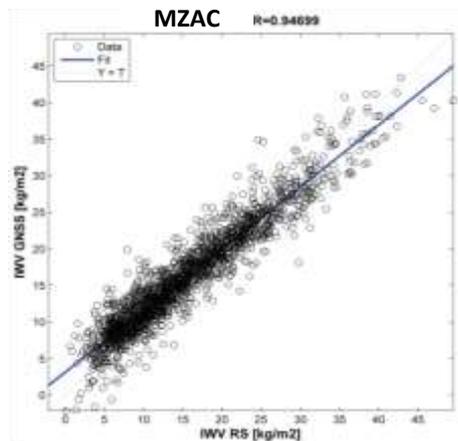
ZTD, ZHD and ZWD [m];

IWV $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right]$; P [hPa]; h [m]; Tm and Ts [k]

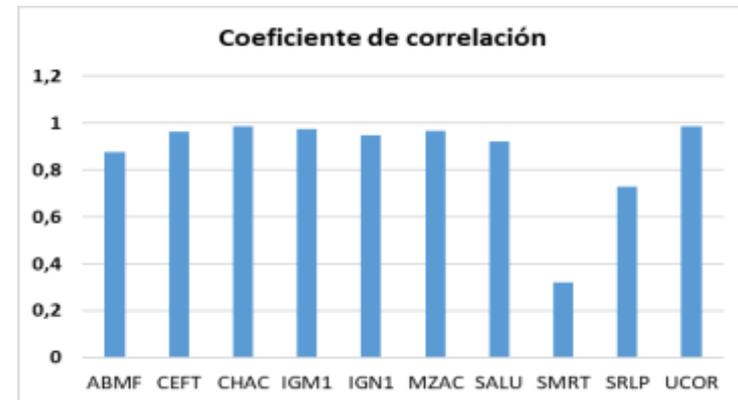
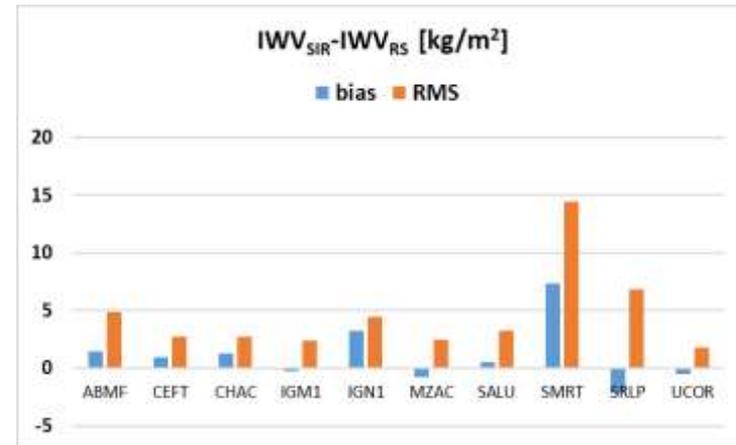
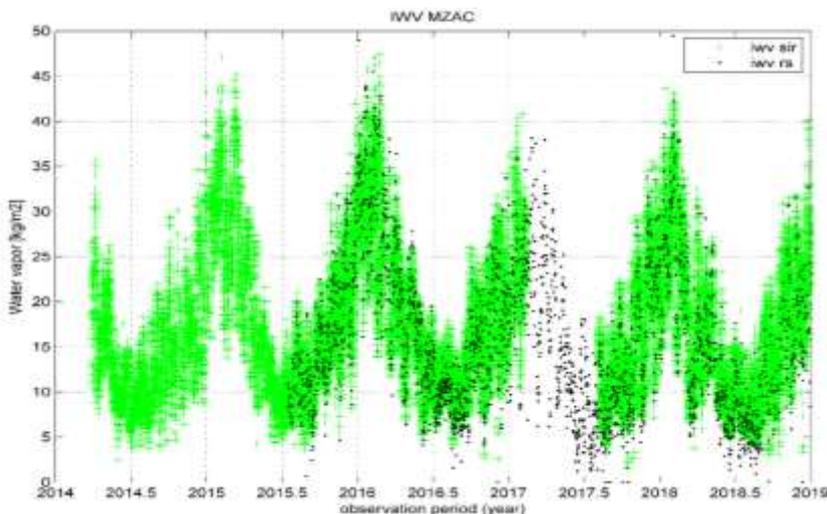
Validación del IWV_{SIR} con RS



10 estaciones **Radiosondeo/ GNSS**
5 años: 2014-2018



Series temporales de IWV



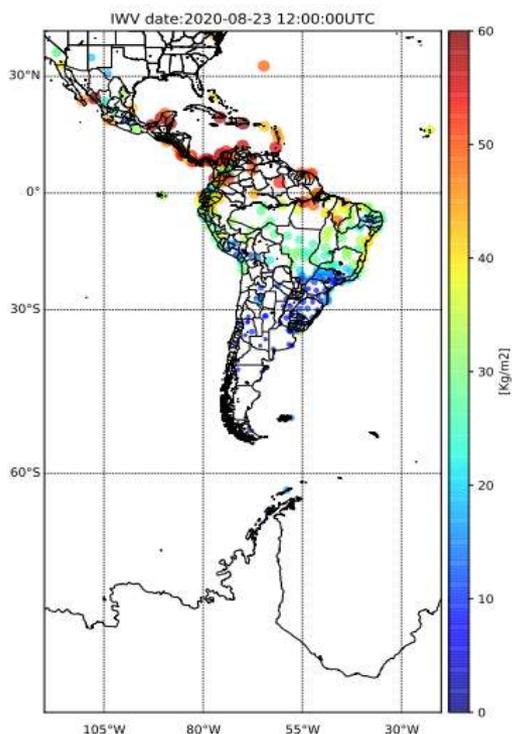
RMS promedio = 3,5 kg/ m²
Bias medio = 0,41 kg/ m²
Coefficiente de correlación medio = 0,89

Requerimientos de precisión:
5 kg/m² en integrated water vapor (IWV)
 Douša and Vaclavovic (2014)

PDF 2120_lat[-80.0,40.0]_lon[-120.0,-20.0](MAPAS)

PDF 2120_lat[-80.0,40.0]_lon[-120.0,-20.0](GRAFICOS)

MAPAS: 24 h x 7 días

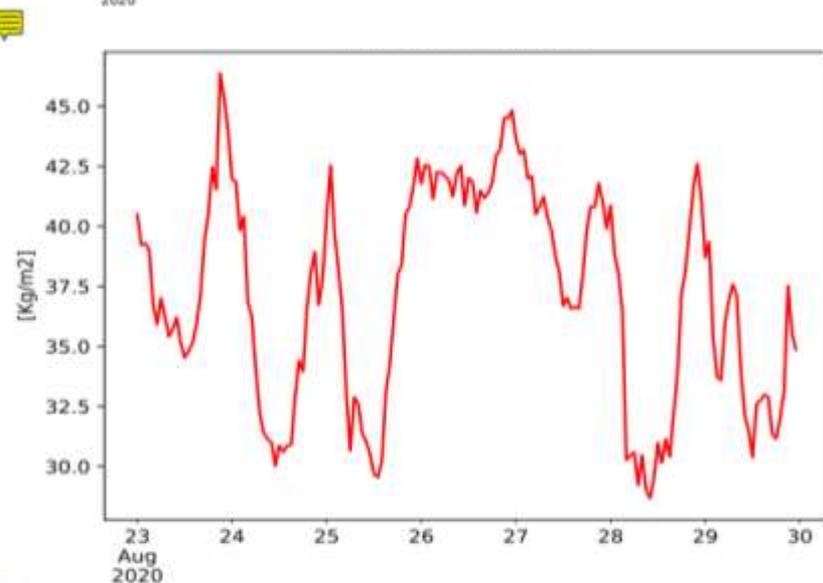
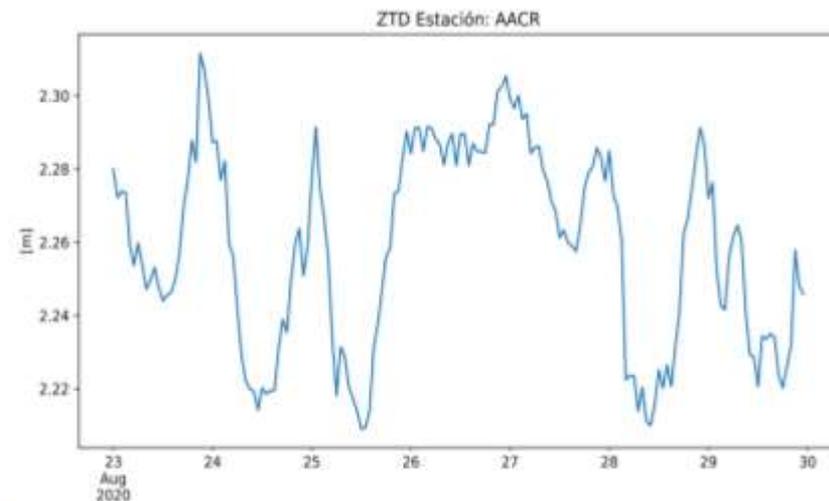


GRÁFICOS
ZTD
IWV

Por estación
Serie de 7 días
Registros c/1h

Estacin: AACR Ubicacin:
9.938849,275.88208199999999
7,1123.9433semGPS2120

Por cada semana GPS

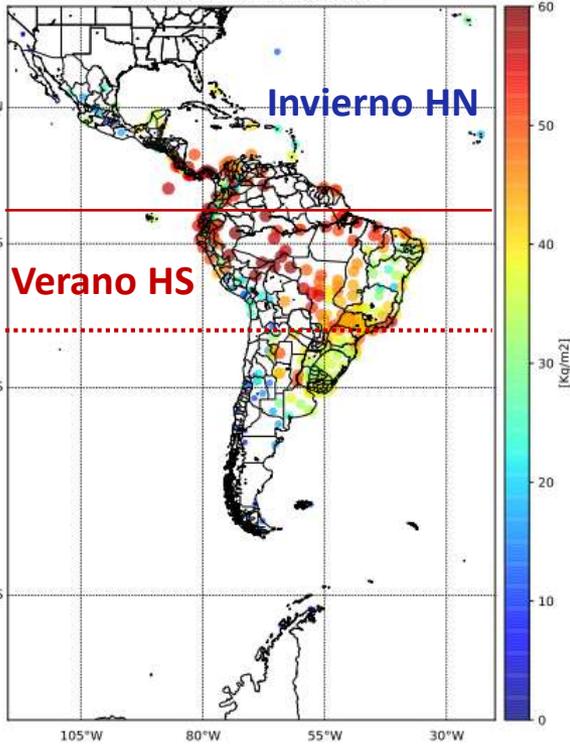


Mapas horarios de IWV

Variabilidad con la Latitud y la época del año

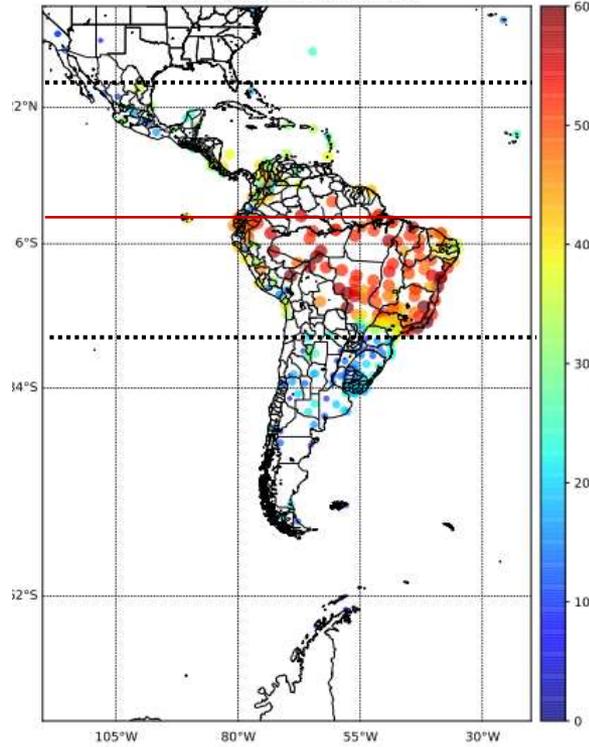
Diciembre

IWV date: 2019-12-20 12:00:00UTC



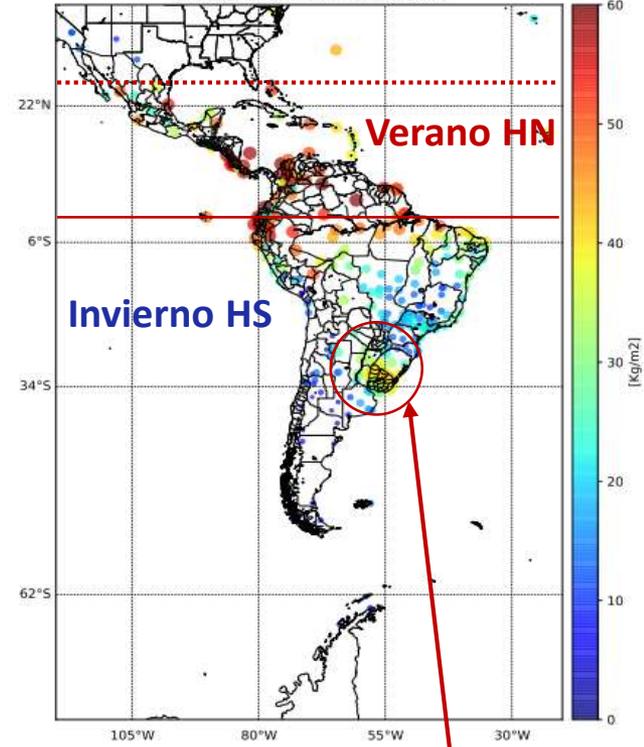
Marzo

IWV date: 2020-03-21 12:00:00UTC

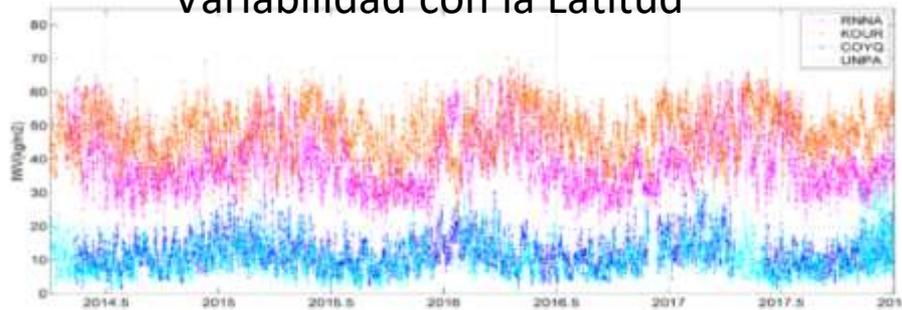


Junio

IWV date: 2020-06-21 12:00:00UTC

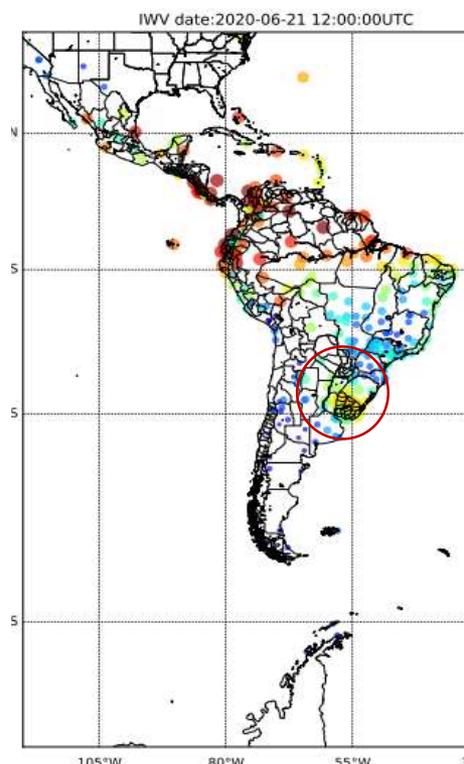
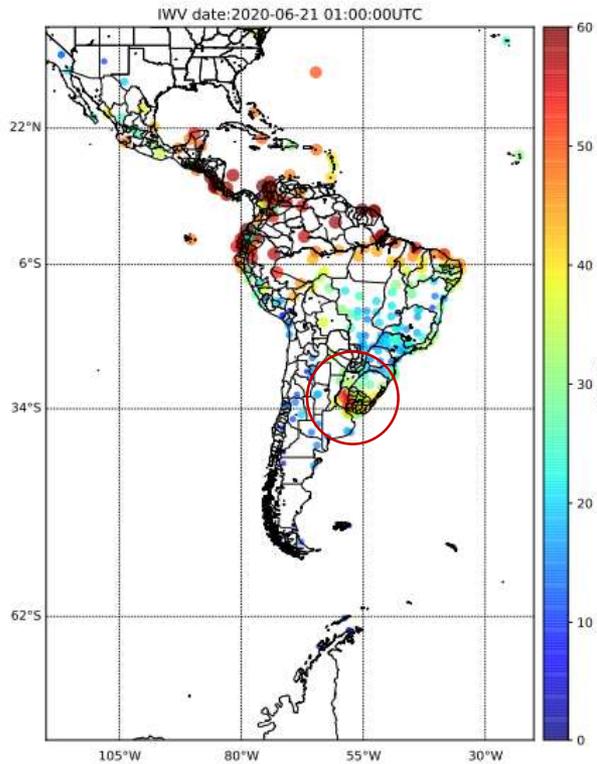


Variabilidad con la Latitud



Fenómenos locales

Mapas de IWV



Estacion	fecha	hora (HOA)	Estado del cielo	10 km	T (C)	nto intencio di
Aeroparque Buenos Aires	20-jun-20	21:00	Neblado con lluvia en la noche	10 km	13.7	82
Aeroparque Buenos Aires	20-jun-20	22:00	Neblado con tormenta eléctrica	15 km	13.9	82
Aeroparque Buenos Aires	20-jun-20	23:00	Neblado con tormenta eléctrica	6 km	13	91
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	00:00	Neblado con lluvia en la noche	10 km	13	95
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	01:00	Cubierto	10 km	13	89
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	02:00	Cubierto	10 km	12.5	93
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	03:00	Cubierto con lloviznas	7 km	12	94
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	04:00	Cubierto con lloviznas en la noche	10 km	12.4	91
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	05:00	Cubierto	10 km	12.5	93
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	06:00	Cubierto	10 km	12.7	93
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	07:00	Cubierto	10 km	12.8	94
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	08:00	Cubierto	10 km	12.9	91
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	09:00	Cubierto	10 km	12.6	93
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	09:00	Cubierto	10 km	12.6	93
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	11:00	Cubierto con neblina	9 km	13.4	85
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	12:00	Algo nublado	10 km	15.1	87
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	13:00	Algo nublado	10 km	16.1	70
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	14:00	Algo nublado	10 km	17.6	63
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	15:00	Algo nublado	10 km	17.8	58
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	16:00	Algo nublado	10 km	17.7	58
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	17:00	Algo nublado	30 km	17.7	63
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	18:00	Algo nublado	10 km	16.5	52
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	19:00	Algo nublado	10 km	15.4	59
Aeroparque Buenos Aires	21-jun-20	20:00	Algo nublado	10 km	14.6	60
Buenos Aires	20-jun-20	21:00	Cubierto con lluvia	7 km	14.7	72
Buenos Aires	20-jun-20	22:00	Neblado con tormenta eléctrica	5 km	13.2	88
Buenos Aires	20-jun-20	23:00	Neblado con tormenta eléctrica	8 km	12.7	93
Buenos Aires	21-jun-20	00:00	Cubierto con lluvia en la noche	10 km	13.1	96
Buenos Aires	21-jun-20	01:00	Neblado	10 km	13	84
Buenos Aires	21-jun-20	02:00	Neblado con lluvia en la noche	10 km	12.4	91
Buenos Aires	21-jun-20	03:00	Cubierto con lloviznas	9 km	12.1	89
Buenos Aires	21-jun-20	04:00	Cubierto con lloviznas en la noche	10 km	11.9	90
Buenos Aires	21-jun-20	05:00	Cubierto	10 km	12.7	89
Buenos Aires	21-jun-20	06:00	Cubierto	10 km	12.7	90
Buenos Aires	21-jun-20	07:00	Cubierto	10 km	12.8	93
Buenos Aires	21-jun-20	08:00	Cubierto	10 km	13	90
Buenos Aires	21-jun-20	09:00	Cubierto	10 km	12.7	90
Buenos Aires	21-jun-20	10:00	Cubierto	10 km	12.7	89
Buenos Aires	21-jun-20	11:00	Cubierto	10 km	13.2	86
Buenos Aires	21-jun-20	12:00	Algo nublado	10 km	15.3	77
Buenos Aires	21-jun-20	13:00	Despejado	10 km	16.6	72
Buenos Aires	21-jun-20	14:00	Algo nublado	10 km	18.1	62
Buenos Aires	21-jun-20	15:00	Despejado	10 km	18.2	59
Buenos Aires	21-jun-20	16:00	Algo nublado	10 km	18.2	58
Buenos Aires	21-jun-20	17:00	Algo nublado	10 km	17.3	56
Buenos Aires	21-jun-20	18:00	Algo nublado	10 km	15.8	63
Buenos Aires	21-jun-20	19:00	Algo nublado	10 km	14.6	65
Buenos Aires	21-jun-20	20:00	Algo nublado	10 km	13	72
Concordia	20-jun-20	21:00	Despejado	15 km	22	90
Concordia	20-jun-20	22:00	Parcialmente nublado	15 km	23.3	83
Concordia	20-jun-20	22:00	Parcialmente nublado	15 km	23.3	83
Concordia	20-jun-20	22:00	Parcialmente nublado	15 km	23.3	83
Concordia	20-jun-20	22:00	Parcialmente nublado	15 km	23.3	83
Concordia	20-jun-20	22:00	Parcialmente nublado	15 km	23.3	83
Concordia	21-jun-20	03:00	Parcialmente nublado	15 km	23.8	76

Hemos recorrido mucho.....pero queda aún mucho por hacer

Muchas gracias!

A ustedes por escucharme...

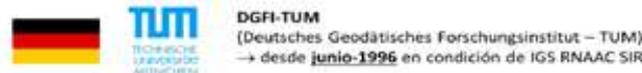
A los operadores de las estaciones GNSS

A los centros de datos

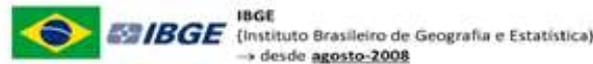
A los centros de procesamiento

A las autoridades de SIRGAS

A las autoridades de las Instituciones que nos respaldan



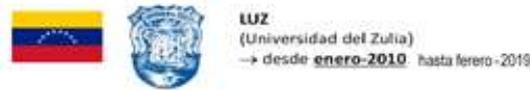
DGFI-TUM
(Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut – TUM)
→ desde **junio-1996** en condición de IGS RNAAC SIR



→ desde **agosto-2008**



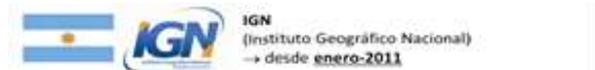
→ desde **agosto-2008**



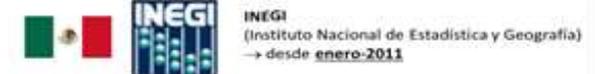
→ desde **enero-2010** hasta febrero -2019



→ desde **enero-2010**



→ desde **enero-2011**



→ desde **enero-2011**



→ desde **enero-2013**



→ desde **enero-2013** hasta enero-2019

