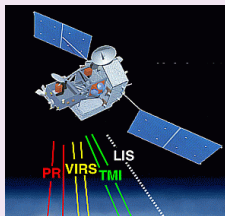


Estimaciones satelitales de precipitación y otros datos públicos útiles para la modelación hidrológica

Simposio "Hidrología Andina para el manejo de los recursos hídricos: conceptos y herramientas"



Mauricio Zambrano-Bigiarini^{1,2}

17 de Noviembre 2015

¹Universidad de La Frontera, Temuco, Chile

²Centro del Clima y la Resiliencia (CR2), Chile

mauricio.zambrano @ ufrontera.cl



Precipitación (lluvia, nieve, granizo, ...)

- Es un componente clave del **ciclo hidrológico**.
- De ella dependen muchos **ecosistemas** y variadas **actividades económicas**, en particular aquellas silvoagropecuarias.
- A diferencia de otras variables (e.g., Temp), esta presenta una **baja correlación en el tiempo y el espacio** (su distribución puede ser **fractal** en el espacio y **discontinua** en el tiempo).
- Más aún, variaciones regionales de **topografía** pueden afectar su cantidad significativamente.

∴ La correcta estimación de su **cantidad, distribución e intensidad** es de fundamental importancia para la **toma de decisiones** y **gestión integrada de los recursos hídricos** de una cuenca.



Tipos de datos

En general, los datos disponibles de precipitación los podemos clasificar en:

- 1 Sólo **in situ** (e.g., DGA, CRU TS, GPCC, etc)
- 2 Sólo **satelitales** (e.g., PERSIANN, CMORPH, CHOMPS, etc.)
- 3 **Combinación** de datos *in situ* y satelitales (e.g., GPCP, CMAP, TRMM 3B42, etc.)

Además,

- A pesar de su cobertura casi global, muchos satelites sólo visitan una región **dos veces por día**.
- Por eso muchos productos satelitales **combinan** información proveniente de distintos satelites (*multi satellite*).



Datos nacionales (públicos)

Tradicionales:

- Dirección General de Aguas (**DGA**):
- Dirección Meteorológica de Chile (**DMC**):
- Agroclima.cl (**FDF-INIA-DMC**)

Recientemente:

- Climate Data Library (**IRI/LDEO**):
- Centro del Clima y la Resiliencia (**CR2**): Ene/1940 - Sep/2015



Datos del CR2

Observacionales

Estos datos corresponden a series de tiempo puntuales o espacialmente distribuidas y registradas a través de instrumentos in situ o remotos. Los registros observacionales contemplan hasta ahora datos de temperatura y precipitación, obtenidos desde las plataformas informáticas (internet) de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, <http://www.meteochile.gob.cl/>) y de la Dirección General de Aguas (DGA, <http://www.dga.cl/>) del Ministerio de Obras Públicas. Estos datos han sido consolidados para fines de investigación y docencia y no sustituyen a los datos originales.

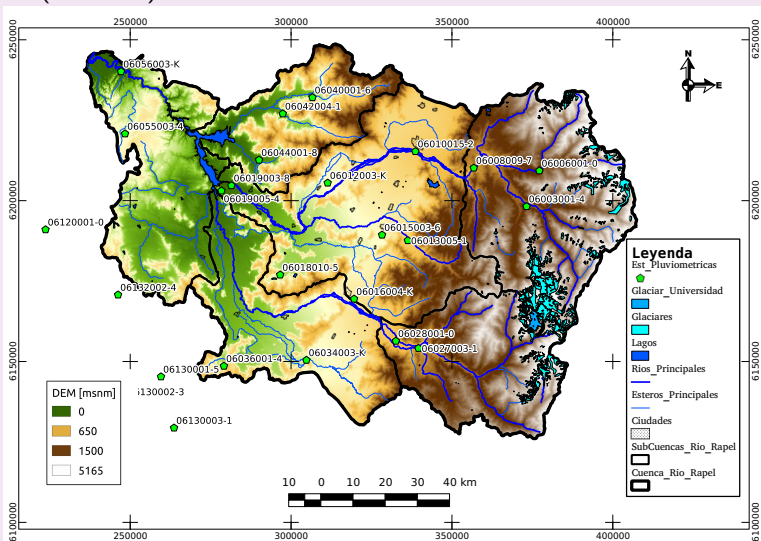
Más detalles en los enlaces siguientes:

- **Datos de Precipitación:** acumulados diarios y mensuales, en milímetros para 781 estaciones de Chile, de enero 1940 a septiembre 2015.
- **Datos de Temperatura Media:** media diaria y mensual, en grados celsius, para 92 estaciones de Chile, de enero 1960 a septiembre de 2015.
- **Datos de Temperaturas Extremas:** diarias y mensuales, en grados celsius, para 281 estaciones de Chile, de enero de 1950 a septiembre de 2015.
- **Datos de Caudales Medios:** diarios y mensuales, en metros cúbicos por segundo, para 553 estaciones de Chile, de enero de 1940 a abril de 2015.



Ejemplo: Cuenca del Río Rapel

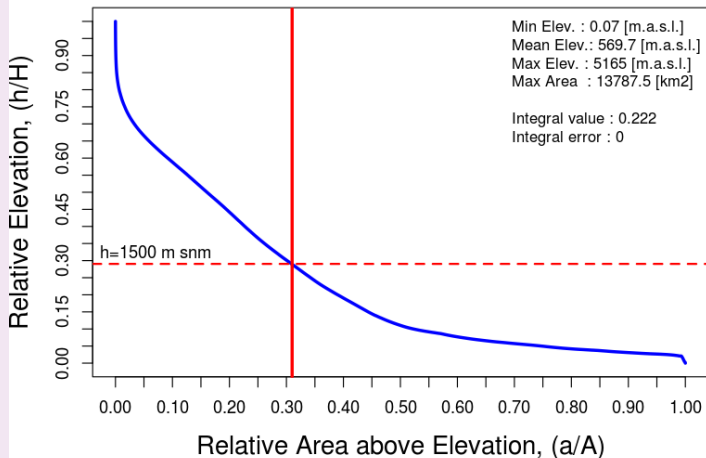
PCP diarias: 25 estaciones pluviométricas (DGA): ~ 1 cada 550 km^2 (0-1500 msnm)



PCP diarias: pocos datos en altura

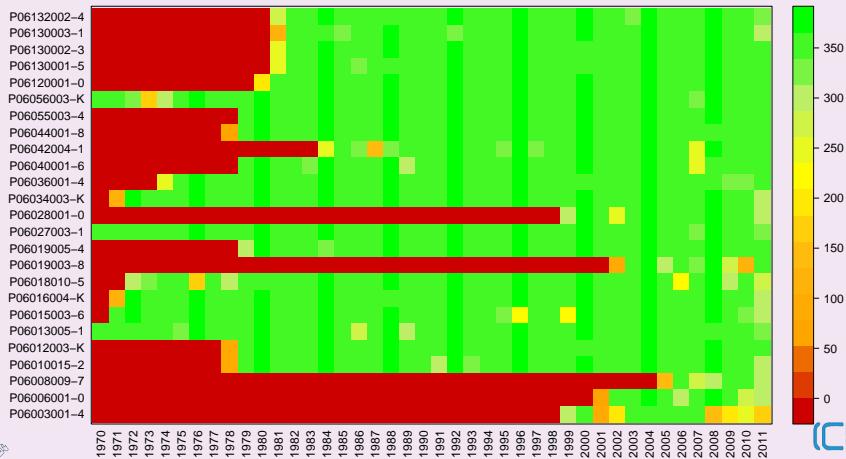
~ 31% de la cuenca SIN observaciones (mayores precipitaciones)

Curva Hipsométrica, Cuenca Río Rapel



PCP diarias: cortas y con datos faltantes

Nº de días con información por año, en cada estación pluviométrica
Cuenca del Río Rapel



Algunas consecuencias:

- **Subestimación** de la cantidad en altura → problemas en modelación hidrológica.
- Series temporales **incompletas** → relleno (desde otras estaciones incompletas).
- Insuficiente **distribución espacial** → problemas en modelación hidrológica.
- Información **escasa** → difícil monitoreo de sequías (y crecidas)
- Información **escasa** → dificulta la planificación de medidas de mitigación adecadas.
- Además, las mediciones *in situ* de precipitación se ven afectadas por el viento, fallas de instalación y otros **errores sistemáticos y aleatorios**.



Datos globales (in situ)

Global Precipitation Climatology Centre (GPCC):

- Analiza precipitación **mensual** a escala **global**
- Utiliza como base de datos **la mayor red de pluviómetros *in situ*** existente (~97 000 estaciones)
- Resolución espacial: $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$, $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$
- Período temporal: Ene/1901 - Dic/2010 (full V6)
- Aptos para el estudio de relaciones de gran escala entre regímenes de precipitación y cambios en los patrones de circulación atmosférica (e.g., ENSO, NAO).

Climatic Research Unit (CRU)

- Analiza precipitación **mensual** a escala **global**
- Resolución espacial: $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
- Período temporal: Ene/1901 - Dic/2012



Productos GPCC en casi tiempo real:

- **Global Precipitation Climatology** (v2015): entrega precipitación **normal** mensual, en base a 75 000 estaciones, con foco en el período 1951-2000.
- **First Guess Product**: entrega **anomalía absoluta** de precipitación mensual, en base a 7 000 estaciones. **Latencia: 5 días** después del fin del mes de observación. Principal uso: monitoreo en tiempo quasi-real de sequía.
- **First Guess Daily Product**: entrega **anomalía relativa** de precipitación diaria, en base a 7 000 estaciones (OBK, con variograma global). **Latencia: 5 días**. Los totales diarios se obtienen multiplicando las anomalías relativas por los totales mensuales anteriores.
- **Monitoring Product**: entrega precipitación mensual, en base a 7000-9000 (gran control de calidad). **Latencia: 2 meses**. Comenzó en 1986 y se actualiza cada mes. Principal uso: monitoreo del clima global. Es el componente *in situ* de GPCP y CMAP.



Otros productos GPCC:

- **Full Data Reanalysis Product (v7)**: mucho más preciso que los productos anteriores. Entrega precipitación mensual (1901-2013). Cantidad de estaciones: 11 000 (1901) - 51 000 (recientemente). Principal uso: verificación de modelos hidro-meteorológicos.
- **Full Data Daily Reanalysis Product**: basado en datos en casi tiempo real e históricos. Entrega precipitación mensual (1988-2013). Cantidad de estaciones: 29 000 por mes.
- **VASClimO 50-Year**: entrega precipitación mensual (1951-2000), basado en 9343 estaciones. Resolución espacial: $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. Será reemplazado por **HOMPRA** (~17500 estaciones, 1951-2005).
- **GPCC drought index**: combinación del **SPI** y **SPEI**, en base a GPCCs First Guess Product y datos NOAAs NCEP CPC GHCN_CAMS. Utiliza Thornthwaite para ETP, y ventanas de 1, 3, 6, 9, 12, 24 meses. **Latencia**: ~10 días.



Estimaciones satelitales de precipitación (SRFEs)

- Los SRFE han aparecido para tratar de **superar** muchas de las **limitaciones** de las mediciones *in situ*
- Varios SRFE se han vuelto operacionales en las últimas décadas, con **cobertura casi global** y de relativamente **alta resolución espacial y temporal**.
- La aparición de los SRFEs ha abierto **oportunidades sin precedentes** para aplicaciones hidrológicas en zonas con datos escasos o inexistentes.
- En general, los SRFEs obtienen su información desde **diversos satélites**:
 - **Geostationary Earth Orbiting (GEO)**: Visible (**VIS**) e Infrared (**IR**).
 - **Low Earth Orbiting (LEO)**: Microwave (**MW**) o Passive Microwave (**PMW**).

The logo for the Center for Research in Water Resources (ICR) at the University of Texas at Austin, featuring the letters 'ICR' in a stylized blue font with a superscript '2'.

¿Por qué combinar satelites?

Satelites LEO (MW, PMW):

- Información directa (precisa) sobre las nubes con lluvia.
- Baja frecuencia de muestreo → limita su efectividad.
- Cobertura espacial de carácter local.

Satelites GEO (VIS, IR):

- Información indirecta (menos precisa) sobre lluvia superficial.
- Generan observaciones frecuentes (15-60 minutos).
- Cobertura global ($\sim 60^{\circ}\text{N}$ - 60°S)

Auge de métodos que tratan de combinar IR y PMW de la mejor forma posible !



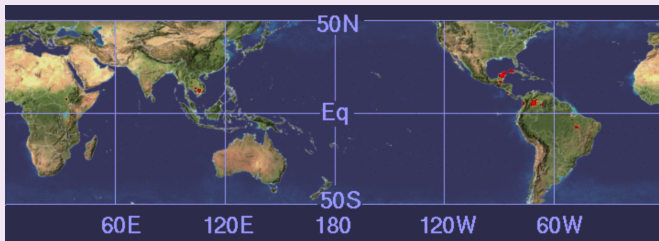
Algunos SRFEs de cobertura casi global

Producto	Nombre Completo	Resolución Espacial	Resolución Temporal	Referencias
3B42 V7	TRMM Multi satellite Precipitation Analysis re-search product 3B42 Version 7	0.25°	3 h	Huffman et al. 2007
3B42 RT	TRMM Multi satellite Precipitation Analysis Real Time experimental product 3B42RT	0.25°	3 h	Huffman et al. 2007
CMORPH	NOAA Climate Prediction Center (CPC) MORPHing technique	0.25°	3 h	Joyce et al. 2004; Janow
GSMaP	Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP MVK+ Version 4.8.4)	0.10°	1 h	Kubota et al. 2007; Oka
PERSIANN	Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks	0.25°	3 h	Sorooshian et al. 2000;
NRL	Naval Research Laboratory's blended technique	0.25°	3 h	Turk and Miller 2005
MOD10C2	MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG	0.055°	8-day	Hall et al. 2002
MOD10A1	MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid	500m	daily	Hall et al. 2002



Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Huffman et al. 2007

- Estimaciones casi-globales (50°N - 50°S) de precipitación, utilizando una variedad de sensores satelitales.

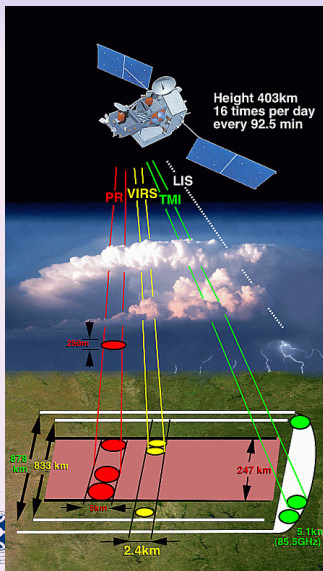


- Resolución espacial: $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$
- Resolución temporal: cada 3 hrs (desde 01-Ene-1998).
- Productos disponibles: casi tiempo-real (3B42RT), **diario (3B42)** y mensual (3B43).

(CR)²



TRMM: Instrumentos



- **TRMM Microwave Imager (TMI)**: sensor de microondas pasivo → cuantifica vapor de agua, agua en las nubes y la intensidad de lluvia.
- **Precipitation Radar (PR)**: Mapas 3D de la estructura de tormentas. Intensidad, distribución y tipo de lluvia. Puede detectar hasta 0.7 mm/hr
- **Visible and InfraRed Scanner (VIRS)** comunicación con POES y GOES
- **Cloud and Earth Radiant Energy Sensor (CERES)**.
- **Lightning Imaging Sensor (LIS)**.

Comparación SRFE vs pluviómetros

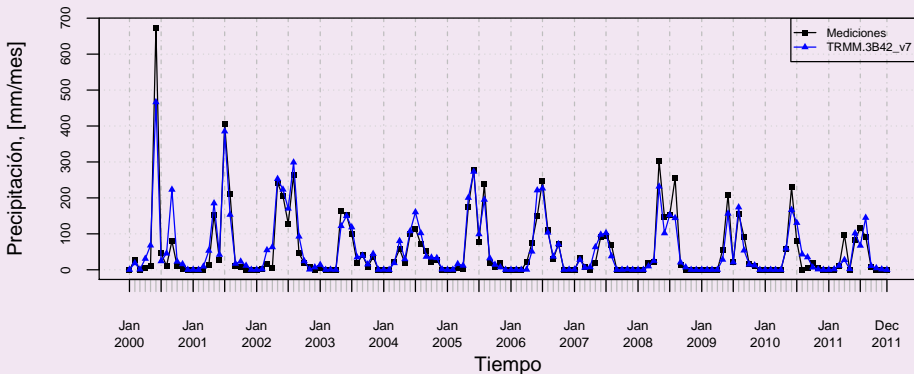
Evaluación de las imágenes TRMM 3B42.V7 vs datos puntuales DGA:

- 1 Descarga de imágenes satelitales TRMM 3B42.V7 (Huffman et al., 2010).
- 2 Re-proyección y aplicación de máscara zonal ($33^{\circ}51'$ - $35^{\circ}01'$ S).
- 3 Agregación temporal (diaria \rightarrow mensual \rightarrow anual).
- 4 Comparación punto-a-píxel: TRMM 3B42.V7 vs DGA (Thiemig et al., 2012).



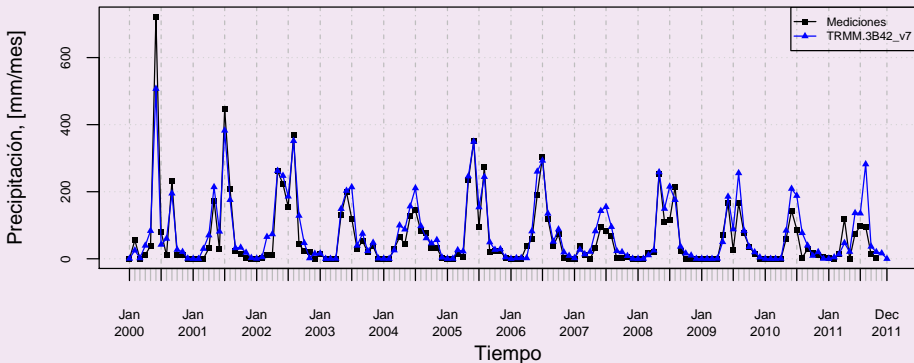
Estación Coltauco

Estación P05: Coltauco
Cod.BNA: 06012003-K. Altitud: 280 [m snm]



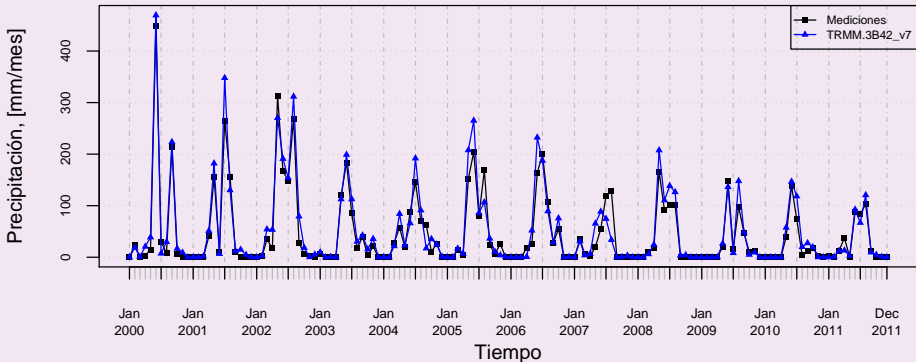
Estación San Fernando - DCP

Estación P08: San Fernando–DCP
Cod.BNA: 06016004–K. Altitud: 350 [m snm]



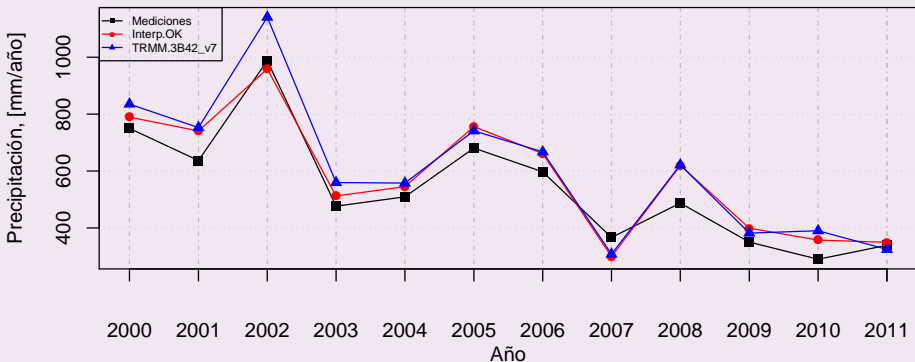
Estación Pichidegua

Estación P11: Pichidegua
Cod.BNA: 06019005-4. Altitud: 125 [m snm]



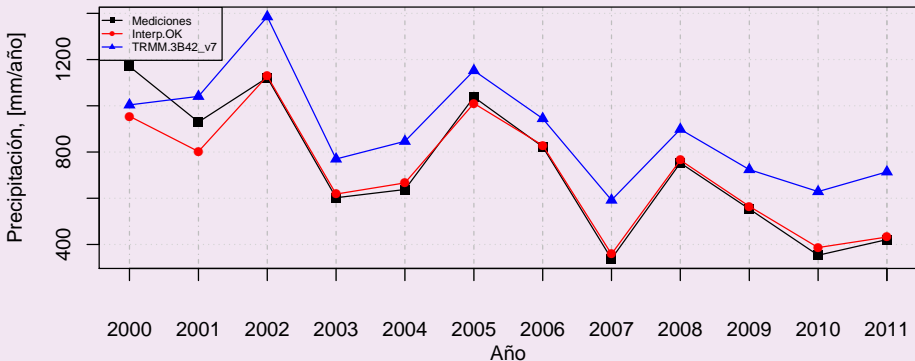
Estación Pichidegua

Estación P11: Pichidegua
Cod.BNA: 06019005-4. Altitud: 125 [m snm]

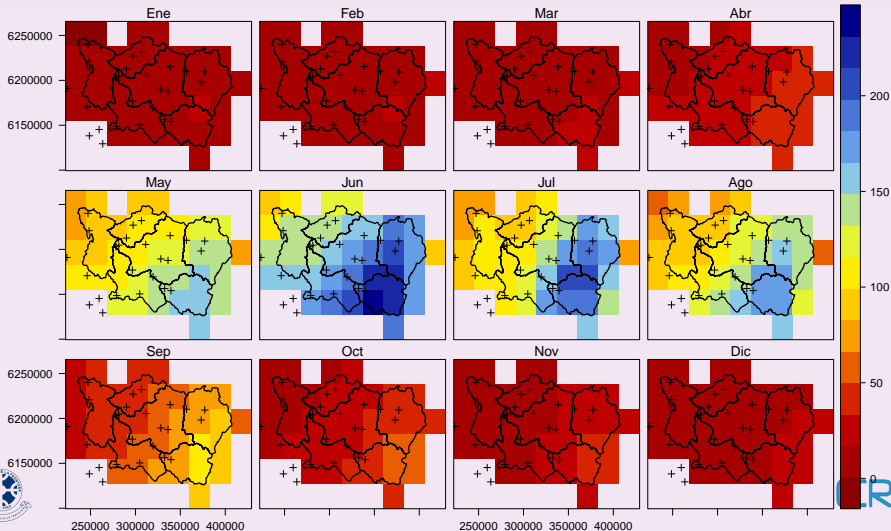


Estación San Fernando - DCP

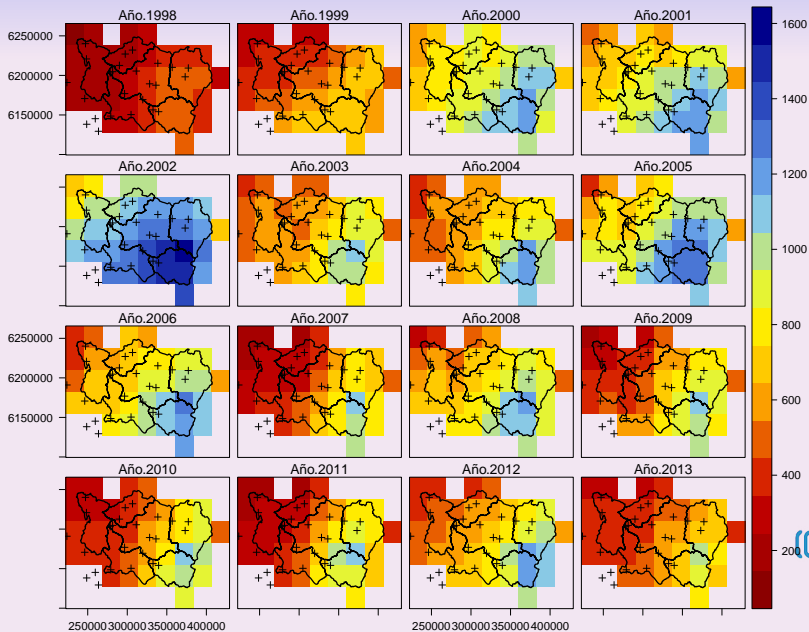
Estación P08: San Fernando–DCP
Cod.BNA: 06016004–K. Altitud: 350 [m snm]



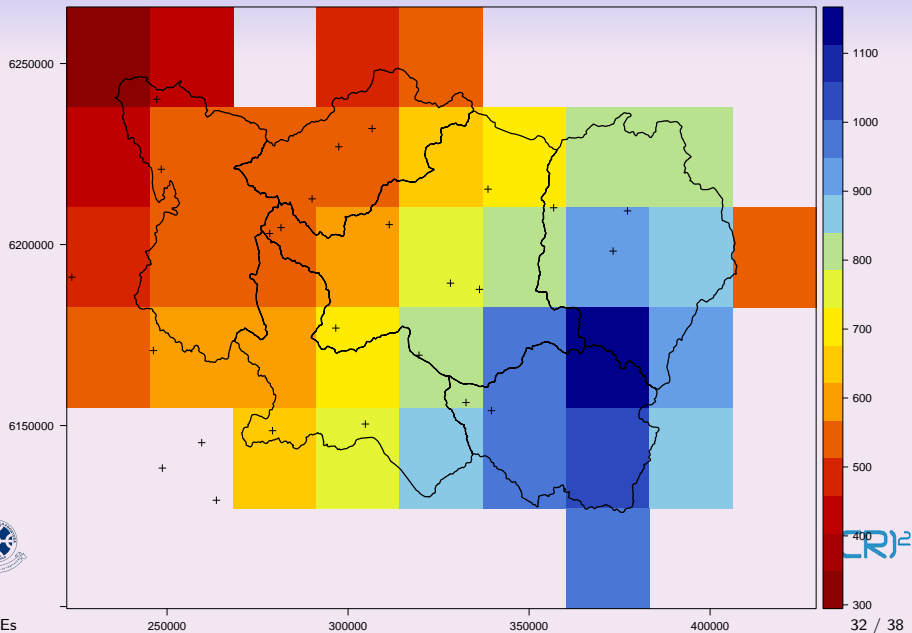
Precipitación Media Mensual – TRMM 3B42v7, [mm] Cuenca del Río Rapel (1998–2013)



Precipitación anual – TRMM 3B42v7, [mm] Cuenca del Río Rapel



Precipitación anual – TRMM 3B42v7, [mm] Cuenca del Río Rapel (1998–2013)



Comentarios finales

- 1 Los datos de SRFEs se encuentran disponibles en **diversas plataformas web** y en una **gran cantidad de formatos** (.bin, .nc, .HDF, .tif).
- 2 El análisis espacio-temporal de una gran cantidad de archivos SRFE requiere de **técnicas adecuadas** (e.g., R, GRASS 7.x, Python), las cuales van más allá del uso tradicional de los SIG.
- 3 Los SRFEs tienen un gran **potencial** para todas las aplicaciones que requieren datos continuos y espacialmente distribuidos de precipitación: **simulaciones** hidrológicas, **monitoreo** de sequías, etc.
- 4 Posibles errores en los SRFEs (bias, falsa detección, etc) son **propagados en forma no lineal** por los modelos hidrológicos → simulaciones de caudal poco realistas.
- 5 En general, no existe un producto satelital que sea mejor que el resto **siempre** y en **todas las áreas** → **validación sitio-específica** de cada producto antes de poder utilizarlo operacionalmente.
- 6 Este estudio **no fue exhaustivo**, sino que pretende ser un punto de partida para aquellos interesados en utilizar SRFEs en una cuenca específica.
- 7 Para comenzar: <http://www.isac.cnr.it/~ipwg/>



< mauricio.zambrano @ ufrontera.cl >

(CR)²

Referencias I

- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E., Bayr, K.J., 2002. MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment* 83, 181–194. doi:[10.1016/S0034-4257\(02\)00095-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00095-0).
- Hsu, K.L., Gao, X., Sorooshian, S., Gupta, H.V., 1997. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology* 36, 1176–1190. doi:[10.1175/1520-0450\(1997\)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2).
- Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K.P., Hong, Y., Stocker, E.F., Wolff, D.B., 2007. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology* 8, 38. doi:[10.1175/JHM560.1](https://doi.org/10.1175/JHM560.1).



Referencias II

- Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., 2010. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA), in: Gebremichael, M., Hossain, F. (Eds.), *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*. Springer Dordrecht Heidelberg, London New York, pp. 3–22.
doi:[10.1007/978-90-481-2915-7_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2915-7_1).
- Janowiak, J.E., Kousky, V.E., Joyce, R.J., 2005. Diurnal cycle of precipitation determined from the CMORPH high spatial and temporal resolution global precipitation analyses. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110, 23105. doi:[10.1029/2005JD006156](https://doi.org/10.1029/2005JD006156).
- Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A., Xie, P., 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology* 5, 487–503.



Referencias III

- Kubota, T., Shige, S., Hashizume, H., Aonashi, K., Takahashi, N., Seto, S., Hirose, M., Takayabu, Y.N., Ushio, T., Nakagawa, K., Iwanami, K., Kachi, M., Okamoto, K., 2007. Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, issue 7, pp. 2259-2275 45, 2259–2275. doi:[10.1109/TGRS.2007.895337](https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895337).
- Okamoto, K., Ushio, T., Iguchi, T., Takahashi, N., Iwanami, K., 2005. The global satellite mapping of precipitation (GSMaP) project, in: *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05.*, p. 3414. doi:[10.1109/IGARSS.2005.1526575](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526575).
- R Core Team, 2013. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- Sorooshian, S., Hsu, K.L., Gao, X., Gupta, H.V., Imam, B., Braithwaite, D., 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 81, Issue 9, pp.2035-2046 81, 2035–2046. doi:[10.1175/1520-0477\(2000\)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2).



Referencias IV

- Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., De Roo, A., 2013. Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin. *Journal of Hydrology* 499, 324–338. doi:[10.1016/j.jhydrol.2013.07.012](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.012).
- Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., Levizzani, V., De Roo, A., 2012. Validation of satellite-based precipitation products over sparsely gauged African river basins. *Journal of Hydrometeorology* 13, 1760–1783. doi:[10.1175/JHM-D-12-032.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-032.1).
- Turk, F.J., Miller, S.D., 2005. Toward improved characterization of remotely sensed precipitation regimes with MODIS/AMSR-E blended data techniques. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 43, 1059–1069. doi:[10.1109/TGRS.2004.841627](https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.841627).

