

CAPÍTULO 4

VARIABLES DE REANÁLISIS PARA DETERMINAR TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADAS ESTIVALES. VALLE CENTRAL CATAMARCA

Uriel Alberto Flores¹

1.- Observatorio de Clima. Facultad de Humanidades. Universidad Nacional de Catamarca. geourieflores@gmail.com



VARIABLES DE REANÁLISIS PARA DETERMINAR TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADAS ESTIVALES. VALLE CENTRAL CATAMARCA

REANALYSIS VARIABLES TO DETERMINE ACCUMULATED SUMMER PRECIPITATION TRENDS. CENTRAL VALLEY CATAMARCA

Uriel Alberto Flores

Resumen

El Reanálisis es un modelo matemático para obtener información meteorológica de carácter mensual en diversos climas, combina temperatura, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, etc., y son de acceso libre y gratuito. El reanálisis se aplica a la región Valle Central de Catamarca, en la provincia de Catamarca, República Argentina, para generar conocimiento climático de veranos húmedos y secos, a través de la técnica de datos percentiles y correlaciones de reanálisis que favorecen el entendimiento y la comprensión de los distintos forzantes, asociados o no a la circulación general de la atmósfera. El objetivo principal es vincular los forzantes internos y externos en cuanto a mecanismos atmosféricos para determinar la forma en que se fortalecen o debilitan las precipitaciones correspondientes al trimestre estival: diciembre, enero y febrero. En conclusión, los extremos altos mostraron estar modulados por un aumento de precipitaciones estivales como consecuencia de un eje ciclónico anómalo en la región, un corrimiento al SW e intensificación de *storm-tracks*. Los extremos bajos se mostraron influenciados por anomalías frías en trimestres secos, anomalías negativas de precipitación asociadas a un anticiclón anómalo en la región de estudio y debilitamiento del flujo de los Alisios. Además, se observa una marcada estacionalidad de las precipitaciones con cosecha importante de precipitaciones en verano.

Palabras clave: reanálisis, anomalías, precipitación, estival, Valle-Central-Catamarca

Abstract

Reanalysis is a mathematical model of monthly meteorological information applied to various climates, it combines temperature, relative humidity, precipitation, atmospheric pressure, etc., and is freely accessible. Reanalysis is applied to the Valle Central de Catamarca region, in the province of Catamarca, Republic of Argentina, to generate climatic knowledge of wet and dry summers, through the technique of percentile data and reanalysis correlations that favor understanding and comprehension. of the different forcing, associated or not with the general circulation of the atmosphere. The main objective is to link the internal and external forcing in terms of atmospheric mechanisms to determine the way in which the precipitations corresponding to the summer quarters: December, January and February are strengthened or weakened. The high extremes showed to be modulated by an increase in summer precipitations as a consequence of an anomalous cyclonic axis in the region, a shift to the SW and intensification of storm-tracks.



The low extremes were influenced by cold anomalies in dry quarters, negative precipitation anomalies associated with an anomalous anticyclone in the study region and weakening of the trade winds. In addition, there is a marked seasonality of rainfall with a significant harvest of rains in summer.

Keywords: Reanalysis, Anomalies, Precipitation, Summer, Valle-Central-Catamarca.

1. Introducción

Los reanálisis como fuentes analíticas del clima se han incorporado a la ciencia atmosférica en los últimos años. En las últimas décadas se consolida el uso de modelos numéricos para el estudio de parámetros climáticos. Uno de los modelos más utilizados es el Reanálisis NCEP/NCAR (*National Center for Environmental Prediction*) / (*National Center for Atmospheric Research*) que se emplea para el estudio del clima mundial y regional.

Las bases de datos de reanálisis disponibles, provenientes del ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) y del NCEP / NCAR están disponibles en el sitio web de la NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*).

Los reanálisis varían en su performance y resolución, entre otros parámetros y es una herramienta que actualmente se emplea para graficar los campos medios de diversas variables meteorológicas y climáticas.

Su objetivo no sólo es analizar los campos medios, sino que permite familiarizarnos con el diagnóstico del Sistema Climático.

El Reanálisis NCEP / NCAR, en síntesis, "es un modelo numérico que permite obtener información meteorológica mensual de diversos elementos del clima (temperatura, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, etc.) desde 1948 a la actualidad y poseen cobertura mundial. Son gratuitos y de libre acceso <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis>" (Bustos et al. 2016, p. 335).

La obtención de registros estadísticos de pluviometría, su descripción y análisis en la región Valle Central de Catamarca, en la provincia de Catamarca, República Argentina, nos permite abordar el conocimiento climático de veranos húmedos y secos, a través de la técnica de datos percentiles y correlaciones de reanálisis que favorecen el entendimiento y la comprensión de los distintos forzantes, asociados o no a la circulación general de la atmósfera.

El objetivo principal de esta investigación radica en vincular con forzantes externos e internos en cuanto a mecanismos atmosféricos para determinar la forma en que se fortalecen o debilitan las precipitaciones correspondientes al trimestre estival: diciembre, enero y febrero (DEF), en el Valle Central de Catamarca.

2. Caracterización regional

Gran parte del Noroeste Argentino se caracteriza por la presencia recurrente de fenómenos asociados a excesos hídricos como inundaciones, deslizamientos y derrumbes de laderas, aluviones de barro y rocas, etc., que generan frecuentes e intensos impactos en la población y sus actividades y que, en ocasiones, derivan en desastres.

Tales eventos, si bien son detonados por condiciones de variabilidad hidroclimática (principalmente la estacionalidad de pluviosidad), expresan una trama del riesgo



sumamente compleja y cambiante, de la que participan las configuraciones de la dinámica natural, las formas de valoración, apropiación, aprovechamiento y gestión del área, y las transformaciones ambientales asociadas a ellas (Castro, 2015, p. 93).

La recurrencia y profundización de este tipo de eventos en verano es consecuencia del transporte con sentido sur de aire húmedo procedente de la región amazónica, que es canalizado en la troposfera baja entre las faldas orientales de la Cordillera de Los Andes y la meseta central de Brasil.

El principal mecanismo dinámico que produce precipitación en la región es la actividad transitoria asociada a los ciclones migratorios extratropicales que se propagan hacia el Este a través de las 'storm tracks' (Trenberth, 1991).

3. Datos y metodología

La obtención de los registros estadísticos de la pluviometría de la región del Valle Central de Catamarca, a través de la estación del Aeropuerto "Felipe Varela", el Observatorio de Clima de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Catamarca y el Servicio Meteorológico Nacional, su descripción y análisis nos permite el conocimiento climatológico-meteorológico para la comprensión de los distintos forzantes asociados a la circulación general de la atmósfera. (Figura 1)

Figura 1

Serie de datos Estival Diciembre, Enero y Febrero (1975-2019)

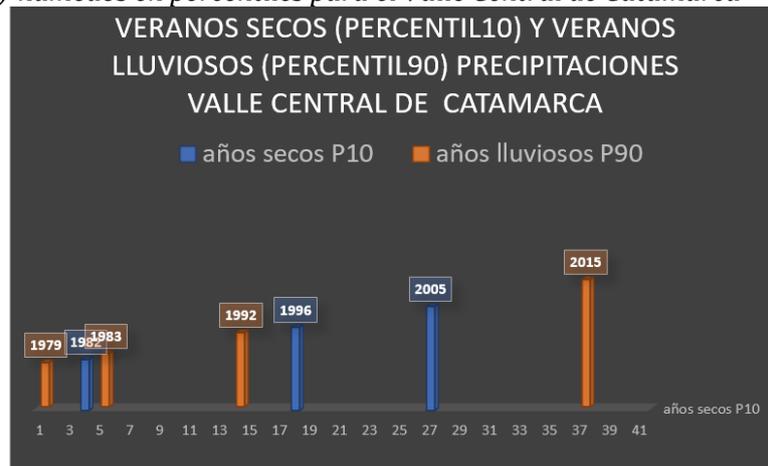
Año	1975	2019
1976	4.5	-999.9
1977	-39	-999.9
1978	66.3	-999.9
1979	54.6	-999.9
1980	-81.6	-999.9
1981	-18.4	-999.9
1982	-180.3	-999.9
1983	272.2	-999.9
1984	-108.1	-999.9
1985	-0.7	-999.9
1986	-118	-999.9
1987	-1	-999.9
1988	138.9	-999.9
1989	-101	-999.9
1990	-25.8	-999.9
1991	-21.4	-999.9
1992	214.8	-999.9
1993	-142.6	-999.9
1994	-48.6	-999.9
1995	-40.9	-999.9
1996	-15.8	-999.9
1997	85.3	-999.9
1998	-5.2	-999.9
1999	32.3	-999.9
2000	38.5	-999.9
2001	-82.7	-999.9
2002	33.5	-999.9
2003	-47	-999.9
2004	-37.2	-999.9
2005	-34.4	-999.9
2006	31.7	-999.9
2007	-36.4	-999.9
2008	172.4	-999.9
2009	-103	-999.9
2010	-45	-999.9
2011	85.2	-999.9
2012	-86	-999.9
2013	39.9	-999.9
2014	119.5	-999.9
2015	95.4	-999.9
2016	-209.9	-999.9
2017	-35.5	-999.9
2018	55.4	-999.9
2019	140.4	-999.9

Nota: Elaboración en base a fuentes de datos Servicio Meteorológico Nacional, Aeropuerto Felipe Varela y Observatorio Clima de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Catamarca.

Se desarrolla un análisis climático-sinóptico de precipitación basado en campos de distintas variables atmosféricas, mediante uso de la herramienta de reanálisis para elaborar correlaciones, composiciones e índices climáticos, para la aplicación en acumulados extremos de precipitaciones estivales: primero, años lluviosos P90 (P: percentil) y segundo, años P10 secos (Figura 2), que permiten asociar los veranos lluviosos y/o secos con respecto a la circulación general de la atmósfera. (Figura 3)

Figura 2

Veranos secos y húmedos en percentiles para el Valle Central de Catamarca



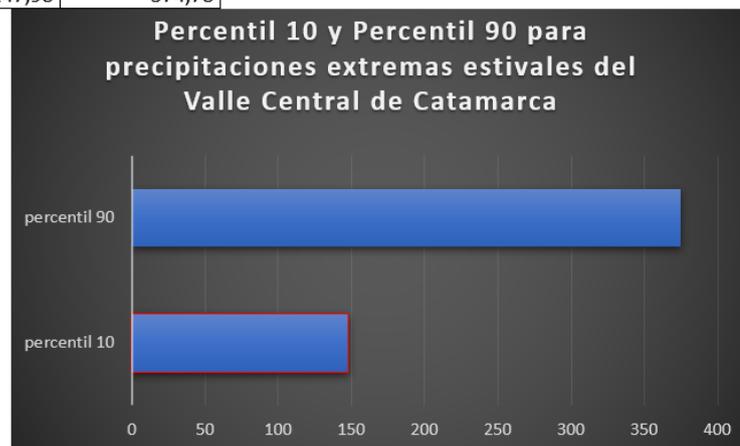
Nota: Elaboración propia a fuentes de datos Servicio Meteorológico Nacional, Aeropuerto Felipe Varela y Observatorio Clima de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Catamarca.

Para evaluar la circulación troposférica fueron utilizados datos de reanálisis propuesto con el programa ERA5 de Hersbach, et al. (2020).

Figura 3

Cálculo de Percentil 10 y Percentil 90 para establecer precipitaciones extremas (en mm)

percentil 10	percentil 90
147,98	374,78



Nota: Elaboración propia a fuentes de datos Servicio Meteorológico Nacional, Aeropuerto Felipe Varela y Observatorio Clima de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Catamarca.

Las variables seleccionadas con el fin de evaluar la circulación de gran escala fueron SST (temperatura de la superficie del mar), viento zonal (u) y meridional (v) en 250 hPa (hectopascal), geopotencial en 250 hPa y derivados como función corriente y potencial de velocidad en 250 hPa.

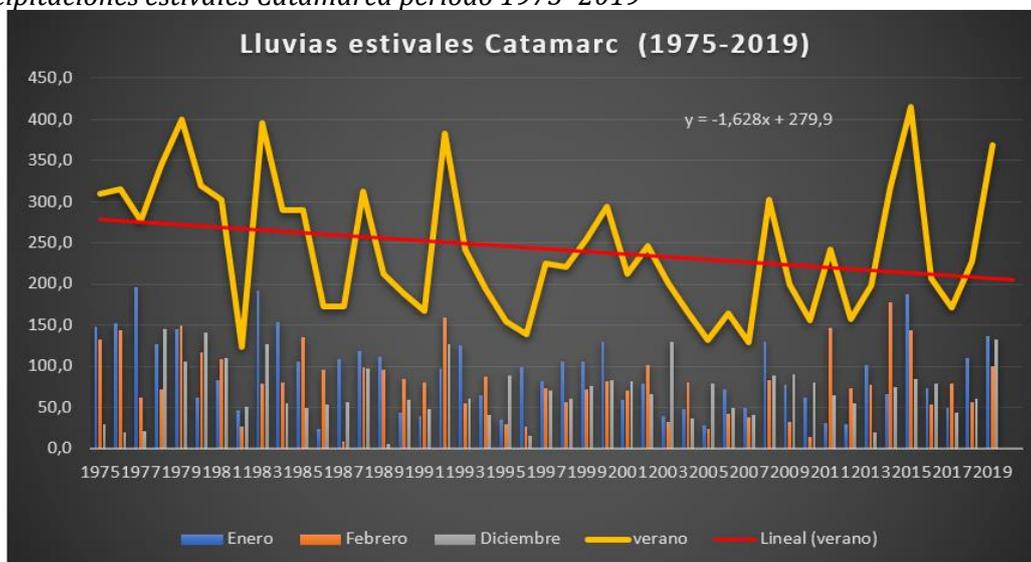
Adicionalmente, para evaluar la influencia local en la precipitación, se utilizó temperatura a 2 metros y el producto de precipitación total del reanálisis.

Cabe destacar, que esta última variable no debe ser considerada como una excelente representación de la realidad sino un análisis estadístico previo avalado por los datos pluviómetros citados, por lo que las interpretaciones de estos campos deben ser evaluados con precaución.

El uso de la herramienta de reanálisis con la elaboración de correlaciones y *composites* (composiciones de datos estadísticos) permite aplicar variables de acumulados extremos de precipitaciones estivales para el área de estudio: verano meteorológico: diciembre, enero y febrero. (Figura 4)

Figura 4

Precipitaciones estivales Catamarca período 1975- 2019



Nota: Elaboración propia a fuentes de datos Servicio Meteorológico Nacional, Aeropuerto Felipe Varela y Observatorio Clima de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Catamarca.

Este sistema de análisis-pronóstico de última generación realiza asimilación de datos desde el año 1948 hasta el presente. Este subconjunto está disponible en el Laboratorio de Ciencias Físicas de la Oficina de la Atmósfera del Gobierno, NOAA-ESRL, Boulder Colorado-EEUU, (PSL), en su formato original de 4 veces al día y con promedios diarios.

El proceso de elaboración cartográfica local tomó solo los valores pronosticados 0Z, 6Z, 12Z y 18Z (horarios que se toman de base a la hora del Meridiano de Greenwich, en nuestra provincia, se resta 3 horas al horario Z correspondiente) y, por lo tanto, solo esos se usaron para hacer la serie de tiempo tanto diarias como de medias mensuales.

Producto de la divergencia anómala en la región del Pacífico Tropical que se refuerza en verano por fuentes extratropicales, se propaga un tren de ondas de *Rosby* (procesos de

convección del aire que determinan importantes acumulaciones de precipitaciones) cuasi estacionarias.

En los ambientes serranos se observó que la temperatura del aire tiene un mejor ajuste que los otros parámetros considerados. Esto muestra una diferencia con otros autores que encontraron que a mayor altura sobre el nivel medio del mar menor es el ajuste de los datos observados con los del NCEP/NCAR.

En los últimos años se presenta un distanciamiento mayor en la brecha entre extremos secos y húmedos, que puede estar asociado al declive del nivel de la tendencia presentado en los gráficos anteriores.

3. 1. Veranos extremos lluviosos

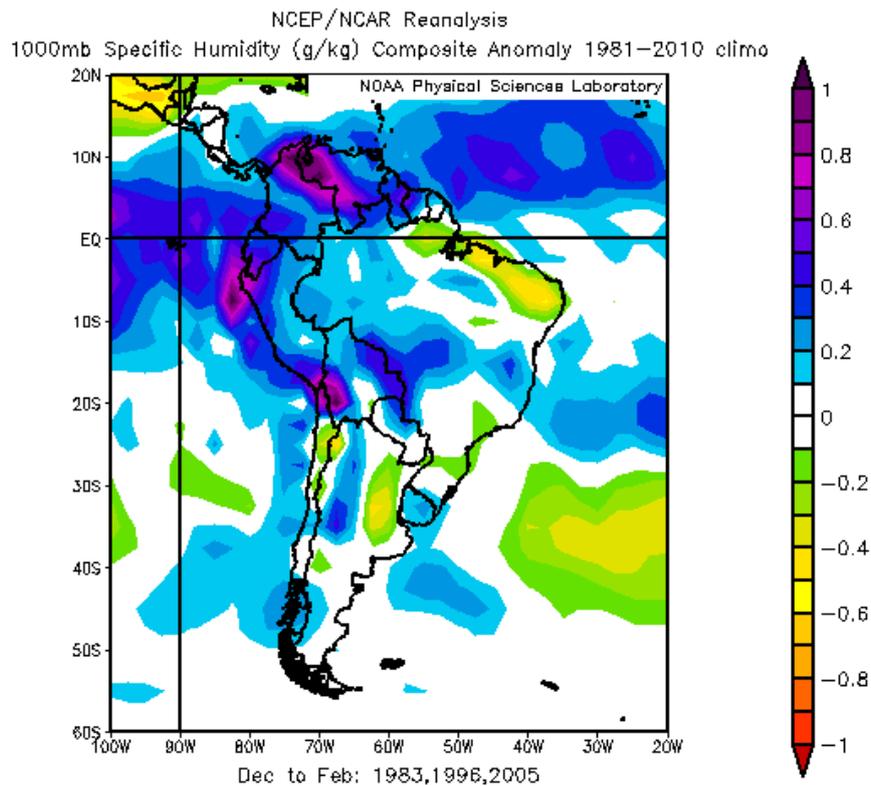
Con el cálculo de percentil P90 los años extremos que superan los 374 mm, son los siguientes: 1979, 1983, 1992 y 2015.

En relación al promedio anual acumulado, que es de 450 mm, los veranos lluviosos oscilan en 65 y 75% en esta estación representa la cosecha más importante de precipitaciones en todo el año, si se tiene en cuenta el en clima de dominio semiárido de sierras y bolsones.

Las anomalías positivas de geopotencial en 100 mb y humedad específica favorecen la convección asociada mayormente a sistemas orográficos. "La definición de una condición extrema tiene un contenido intrínsecamente estadístico y la determinación cuantitativa general es aplicable a cualquier región" (Penalba, 1995, p. 93) (Figura 5)

Figura 5

Anomalía en la composición de la humedad específica, de diciembre a febrero. Años 1981-2010



Nota: En base a NOAA Physical Sciences Laboratory.

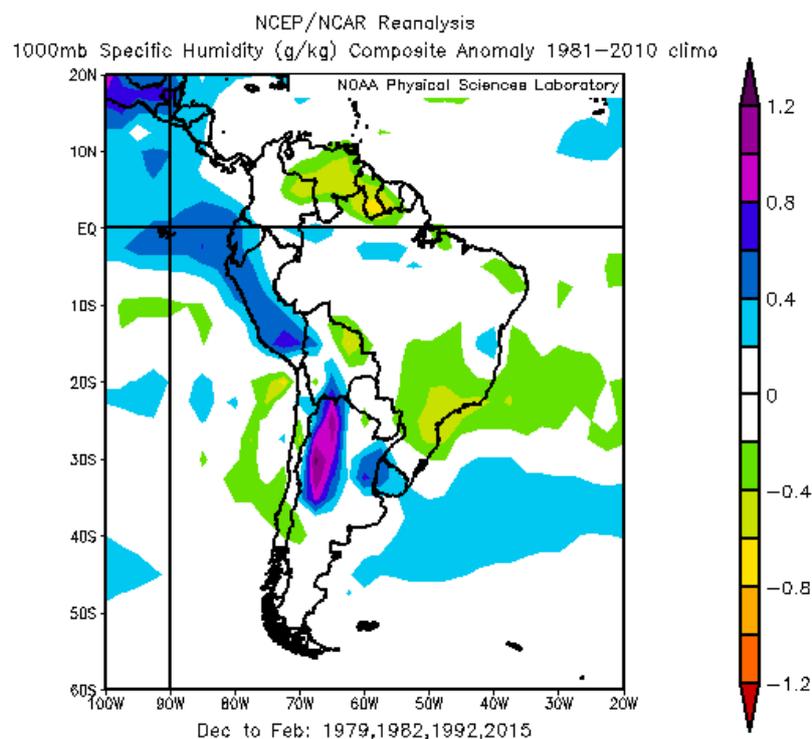
Luego del equinoccio de primavera, el inicio de la convección profunda en la región amazónica al sur del Ecuador, junto con los vientos Alisios, inducen un flujo de aire cálido y húmedo hacia el Este, que es desviado hacia el Sur por la cordillera de los Andes.

Este flujo es prevaleciente entre octubre y abril (Barros et al. 1998).

De acuerdo con Barrera y Maggi (2017) como respuesta dinámica al calentamiento de la alta tropósfera generado por la convección profunda en la región amazónica, y al debilitamiento del gradiente térmico Ecuador-Trópico, se establece un centro de alta presión en la tropósfera media y alta conocido como Alta de Bolivia. "En término medio el centro está ubicado en 15°S y 65°O". (p. 3-4). (Figura 6)

Figura 6

Alta Bolivia. Anomalía en la composición de la humedad específica, de diciembre a febrero. Años 1981-2010



Nota: En base a NOAA Physical Sciences Laboratory.

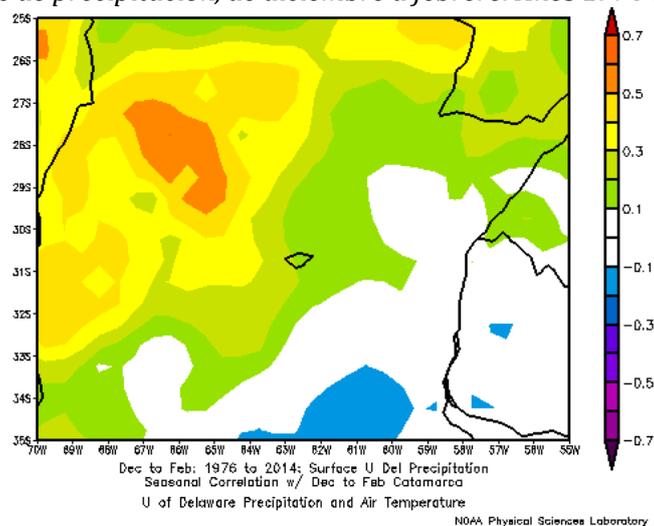
Además, según Barrera y Maggi (2017), en el semestre cálido se desarrolla en niveles troposféricos bajos un centro de baja presión en la región del Chaco denominado Baja del Chaco (BCH) y continua, la BCH está centrada aproximadamente entre los 21° S y los 61° O (p. 4).

Por otra parte, la Baja del Noroeste Argentino (BNOA) es una región de baja presión de origen termo-orográfico alargada en sentido meridional al este de los Andes, con centro aproximadamente en 30°S y 65°O (Barrera y Maggi, 2017, p. 4).

3. 2. Veranos extremos secos

Con el cálculo de percentil P10 los años extremos que están por debajo de los 374 mm, son los siguientes: 1982, 1996 y 2005. (Figura 7 y 8).

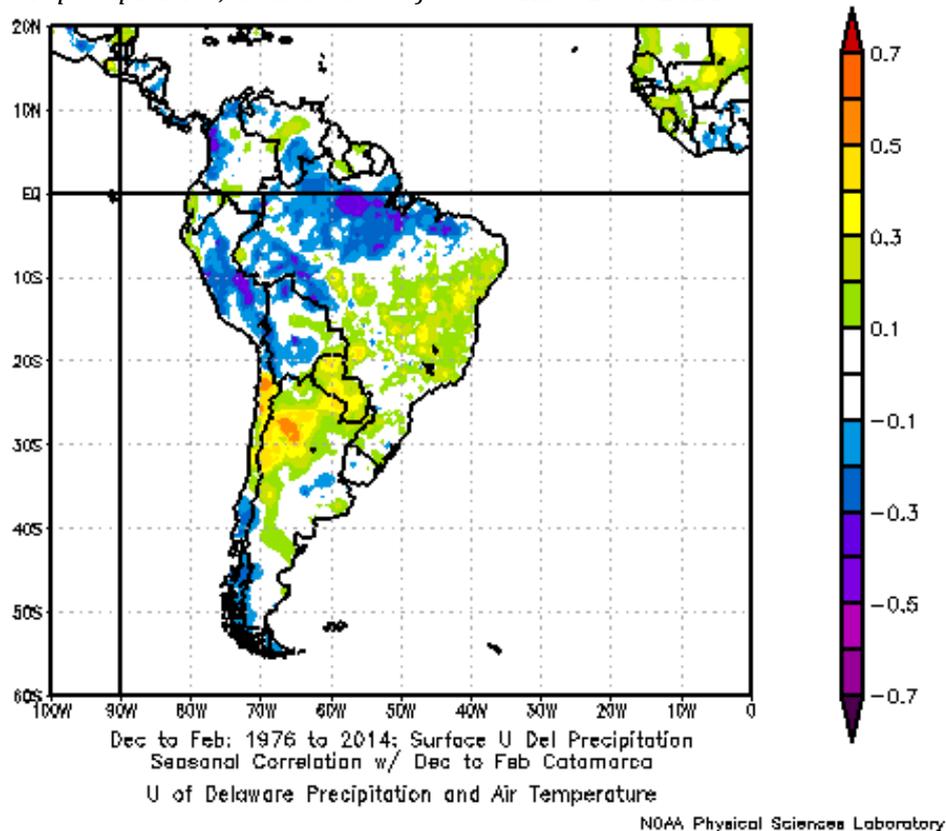
Figura 7
Síntesis de superficie de precipitación, de diciembre a febrero. Años 1976-2014



Nota: En base a NOAA Physical Sciences Laboratory.

Las anomalías negativas de geopotencial en 100 mb y humedad específica no favorecen la convección asociada, lo que se deduce que como en los años más lluviosos, pero en menor medida, responde mayormente a un patrón asociado a sistemas orográficos de origen termodinámico.

Figura 8
Superficie de precipitación, de diciembre a febrero. Años 1976-2014



Nota: En base a NOAA Physical Sciences Laboratory.

Según Trenberth (1991), "la actividad de *Storm Tracks* trayectoria de tormenta es notablemente persistente durante todo el año tanto en ubicación como en intensidad en el Hemisferio Sur". (p. 2173). (Figura 9)

Figura 9
Zona de influencia de vientos, en julio. Años 1979-1989

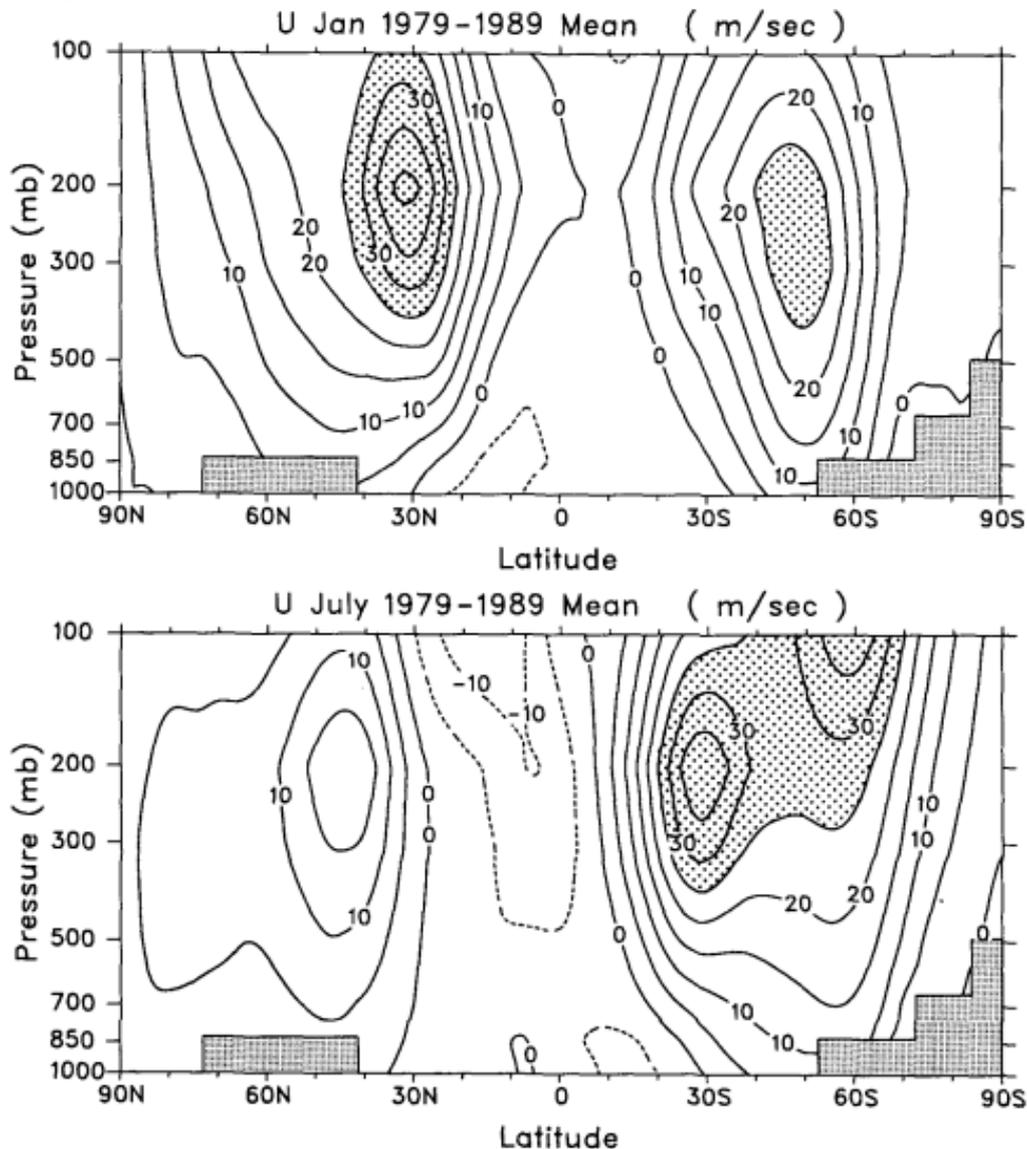


FIG. 5. Zonal-mean winds from 1979 to 1989; the contour interval is 5 m s^{-1} . Values greater than 25 m s^{-1} are stippled; the fine stipple indicates areas influenced by surface pressures less than 1000 mb.

Nota: Trenberth (1991, p. 2165)

La trayectoria de las tormentas está más alejada hacia el Polo en las estaciones de transición como parte de un ciclo semestral, pero permanece cerca de los 50° S durante todo el año, y es más fuerte en el sur del Océano Índico y más débil en el Pacífico Sur.

Existe una fuerte relación entre la trayectoria de la tormenta y la principal corriente en chorro polar troposférica y su baroclinicidad asociada en los niveles inferiores a lo largo del año, y la distribución de la actividad de la trayectoria de la tormenta puede explicarse mediante la teoría baroclínica. En contraste con el NH, los gradientes de temperatura meridionales más fuertes en las latitudes medias se encuentran en el medio año de verano en el SH (Trenberth (1991, p. 2159)

Mientras que la actividad de la trayectoria de tormentas en Hemisferio Norte es mucho más débil en verano y se desplaza hacia el Polo, la actividad en el Hemisferio Sur es tan fuerte como en invierno y, en todo caso, se desplaza ligeramente hacia el Ecuador. La simetría zonal es mayor en verano y los perfiles meridionales son más nítidos, lo que implica una menor variabilidad en la trayectoria de las tormentas tanto dentro como entre temporadas.

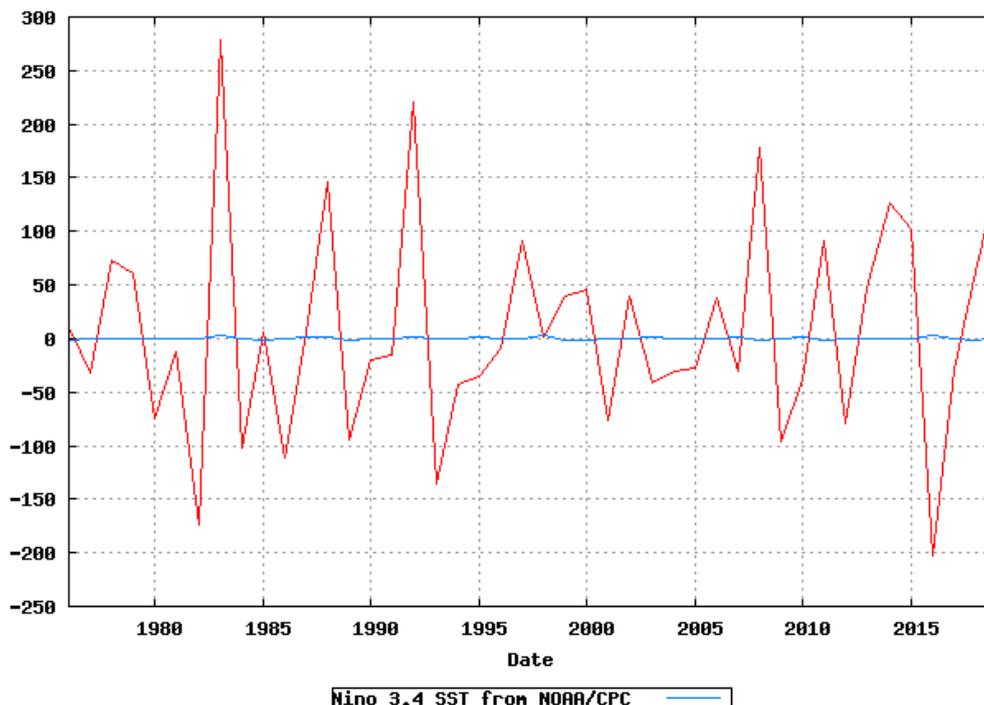
En invierno, la actividad de la trayectoria de las tormentas de alta frecuencia se extiende sobre un rango más amplio de latitudes y está asociada principalmente con la Corriente en Chorro Polar. (Trenberth, 1991)

4. Relación de la serie con índices climáticos

Se observa claramente la asociación de años lluviosos con anomalías positivas pertenecientes a índice El Niño 3.4, (Figura 10). Se destaca los años 1983, 1992 con valores altos y en igual sentido con los de 2015.

Figura 10

Anomalías estivales de precipitación Catamarca, de diciembre a febrero. Años 1976-2019



Nota: NOAA (2021)



La anomalía se origina a partir de la retroalimentación dinámica y termodinámica entre la atmósfera y el océano, asociado con un ciclo cuasi periódico de 3 a 7 años de calentamiento El Niño y enfriamiento La Niña de la zona central oeste y oriental del Océano Pacífico.

5. Conclusiones

El estudio de reanálisis de las precipitaciones estacionales del Valle Central de Catamarca contribuye a reunir la información mensual confirmando la variabilidad de los promedios. Además, permite conocer la base climatológica de los registros para una mayor comprensión de la problemática que incluye la variabilidad de los fenómenos extremos de precipitación.

Con relación a los parámetros de variabilidad puede apreciarse que los meses que presentan escasas precipitaciones poseen una mayor variabilidad que los meses con precipitaciones más abundantes. Esto es una consecuencia del régimen de precipitaciones. El ciclo anual de precipitaciones muestra un régimen pluvio-nival con un máximo relativo estival y un mínimo absoluto en invierno.

Los *composites* analizados para años extremos de mm altos (bajos) durante la fase de máximo de verano seleccionados a través del criterio del percentil muestran patrones consistentes con la fase positiva del ENSO en los meses DEF.

Los extremos altos mostraron estar modulados por un aumento de precipitaciones estivales como consecuencia de un eje ciclónico anómalo en la región, un corrimiento al SW e intensificación de *storm-tracks*.

Los extremos bajos se mostraron influenciados por anomalías frías en trimestres secos, anomalías negativas de precipitación asociadas a un anticiclón anómalo en la región de estudio y debilitamiento del flujo de los alisios.

Se observa una marcada estacionalidad de las precipitaciones con cosecha importante de lluvias en verano. Precipita en promedio, 1.8 veces más que el resto del año (otoño, invierno y primavera sumados).

El percentil 90 (347 mm) marca que en esta estación llueve un 77%, con respecto al promedio anual de 450 mm.

Con el fenómeno de El Niño se observa en el año 1988, un incremento en los promedios y en los extremos positivos de precipitaciones.

Asimismo, a consideración de varios autores, las precipitaciones de esta área de estudio poseen de un 35 a 40% de singularidad como base en cada período.

Su profundización en verano favorece el transporte hacia el Sur de aire húmedo desde la Región Amazónica, que es canalizado en la tropósfera baja entre las Faldas Orientales de la Cordillera de Los Andes y la Meseta Central de Brasil.

6. Referencias bibliográficas

- Barrera, D.; y Maggi, A. (2017). Variabilidad de la precipitación en el Altiplano Argentino. Incidencia de la transición climática 1976/1977 y del fenómeno El Niño – oscilación del Sur en el Noroeste Argentino. Meteorológica. Disponible en: http://www.meteorologica.org.ar/wp-content/uploads/2017/05/Barrera_y_Maggi_2017.pdf
- Barros, V.; González, M.; y Barros, V. (1998). The relation between tropical convection in South America and the end of the dry period in subtropical Argentina. *Internacional*



- Journal of Climatology*. Volumen 18. pp. 1669-1685. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228606083_The_relation_between_tropical_convection_in_South_America_and_the_end_of_the_dry_period_in_subtropical_Argentina/citation/download
- Bustos, M. L.; Ferrelli, F.; Huamantínco Cisneros, M. A.; Piccolo, M. C.; y Gil V. (2016). Estudio preliminar del ajuste entre datos meteorológicos *in situ* y del Reanálisis (NCEP/NCAR) en distintos ambientes de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Estudios Geográficos* Vol. LXXVII, 280, pp. 335-343. Enero-junio, 2016. ISSN: 0014-1496 e ISSN: 1988-8546. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/2742/9995dd563b0768c36b018ba3c049f3071942.pdf>
- Campitelli, E. (2018) metR-Visualización y manejo de datos meteorológicos. In: Conferencia Latinoamericana sobre Uso de R en Investigación+ Desarrollo (LatinR 2018)-JAIIO 47 (CABA, 2018)
- Castro, H. (2015). La trama reciente del riesgo ambiental en la quebrada de Humahuaca: procesos, efectos y derivas, en Jessica Viand y Fernando Briones (compiladores), *Riesgo al Sur. Diversidad de riesgos de desastres en Argentina*. 1ª ed. Parte III. Capítulo 7. pp. 93. Ediciones Imago Mundi. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Riesgos_al_sur_Diversidad_de_riesgos_de.pdf
- Catalini, Carlos et All (2010). "regionalización de lluvias máximas diarias en la provincia de Catamarca".
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2020; Volumen 146. Número 730. pp. 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803> Disponible en: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.3803>
- Penalba, O. C. (1995). *Algunas propiedades específicas del régimen pluvial en Buenos Aires*. (Tesis). Capítulo 8. Climatología de las precipitaciones extremas. pp. 93. Disponible en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n2748_Penalba.pdf
- Trenberth, K. E. (1991). Storm tracks in the Southern Hemisphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48(19), 2159-2178.

7. Webgrafía

- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. <https://www.ecmwf.int/>
- National Center for Environmental Prediction & National Center for Atmospheric Research <https://www.weather.gov/ncep/>
- National Oceanic & Atmospheric Administration. <https://www.noaa.gov/>
- Reanálisis.
[NCEP/NCAR Reanalysis at NOAA/ESRL PSL](https://psl.noaa.gov/data/reanalysis/)
<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis>
<https://psl.noaa.gov/data/reanalysis/>