

ANÁLISIS TEMPORAL DE ÍNDICES CLIMÁTICOS DE PRECIPITACIÓN DE LAS PROVINCIAS DE JUJUY Y SALTA

TEMPORARY ANALYSIS OF CLIMATE PRECIPITATION INDICES IN JUJUY AND SALTA PROVINCES

Fabio Alabar*, Rafael Hurtado, Mónica Valdiviezo Corte y Carla Moreno

Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy

*Autor para correspondencia:
davidalabar@hotmail.com

Licencia:
[Licencia Creative Commons](#)
[Atribución-NoComercial-](#)
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:
Diciembre 2020

Historial:
Recibido: 02/05/2020
Aceptado: 11/08/2020

RESUMEN

En la actualidad existe un amplio consenso científico de que el cambio climático es un hecho inequívoco, y se ha convertido en uno de los temas más analizados, principalmente a causa de los numerosos eventos extremos que provoca. El objetivo del trabajo es evaluar índices de precipitación y analizar sus tendencias en 6 estaciones de las provincias de Jujuy y Salta, Argentina, en los periodos 1957-2017; 1968-2017 y 1987-2017. A partir de series de precipitación diaria se estimaron los índices climáticos mediante el programa R-Climdex, cuya tendencia y significancia se determinó mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall. Las tendencias positivas de los índices cantidad máxima de lluvia en 1 día en un año (Rx1day) y Cantidad máxima de lluvia en 5 días consecutivos en un año (Rx5day) en el periodo 1957-2017, resultaron significativas en las estaciones Orán Aero y La Quiaca Aero, respectivamente. Los valores esperados de acuerdo Rx5day y Rx1day son 0,289 mm/año y 0,489 mm/año, respectivamente.

Palabras clave: eventos extremos, R-Climdex 1.0, tendencia

SUMMARY

Currently there is a broad scientific consensus that climate change is an unequivocal fact, and it has become one of the most discussed topics, mainly because of the many extreme events it causes. The objective of the work is to evaluate climatic precipitation indices and to analyse their linear trends in 6 stations in Jujuy and Salta provinces, Argentina, in the 1957-2017; 1968-2017 and 1987-2017 periods. Climatic indices were estimated from daily precipitation series, using the R-Climdex program, whose trend and significance were determined using the Mann-Kendall non-parametric test. The positive trends of the maximum amount of rain in 1 day in a year (Rx1day) and Maximum amount of rain in 5 consecutive days in a year

(Rx5day) indices in the 1957-2017 period were significant at the Oran Aero and La Quiaca Aero stations, respectively. Increases of 0,289 mm / year in Rx5day and 0,489 mm / year in Rx1day are expected.

Keywords: extreme events, R-Climdex 1.0, trend

INTRODUCCIÓN

El sistema climático no es un componente estático del medio terrestre, sino que posee un régimen dinámico sujeto a variaciones naturales y alteraciones provocadas por actividades humanas en todas sus escalas temporales (SMN, 2019). Las variaciones provocadas por la dinámica interna del sistema climático sin la influencia de forzantes externos se denomina variabilidad climática (SMN, 2019). El cambio climático (CC) es una variación del estado del clima a lo largo del tiempo, y que persiste durante un período prolongado (SMN, 2019).

En la actualidad existe un amplio consenso científico de que el CC es un hecho inequívoco (Belmonte, 2017), y se ha convertido en uno de los temas más analizados de la comunidad académica, principalmente a causa de los numerosos eventos extremos que provoca (Cardona-Guerrero, Ávila-Díaz, Carvajal-Escobar y Jiménez-Escobar, 2013). En la Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la convención marco de Naciones Unidas sobre cambio climático, se indica un aumento menor al 10% en la precipitación anual media para la región denominada Cordillerana, que incluye las provincias de Jujuy y Salta considerando dos escenarios de emisiones y modelos climáticos globales del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (Barros y otros, 2015). Sin embargo, los cambios son de escasa relevancia y los valores proyectados están dentro del margen de incerteza (Barros y otros, 2015).

Las investigaciones a nivel mundial señalan una tendencia creciente en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos en los últimos cincuenta años y se considera probable que las altas temperaturas, olas de calor y fuertes precipitaciones, continuarán siendo más

periódicas en el futuro (Cardona-Guerrero y otros, 2013; Belmonte, 2017).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través de un equipo de expertos "Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices" (ETCCDMI) desarrolló un set de 27 índices climáticos útiles para la detección y el monitoreo de cambios en los registros extremos del clima (Zhang y Feng, 2004). La determinación de los índices climáticos de precipitación propuesto por el ETCCDMI son un aporte en procura de promover acciones idóneas para la gestión integral del recurso hídrico. (Cardona-Guerrero y otros, 2013). En la localidad de Anguil, provincia de La Pampa (Argentina), se observó una tendencia creciente en la cantidad de precipitación anual en un periodo de 55 años (1961-2016) con una variabilidad interanual significativa y un aumento en la frecuencia de eventos de precipitación extrema, relacionados con aumentos en la intensidad de precipitación y las cantidades de lluvia diaria (Belmonte, 2017). Cardona-Guerrero y otros (2013), en un estudio en la cuenca del río Cali, Colombia, determinaron incrementos en la precipitación máxima en 24 horas y una tendencia en aumento en las intensidades de lluvias. Núñez González y García Suárez (2018), en el estado de Jalisco, México, muestran tendencias decrecientes en el índice de precipitación total anual y un aumento en el caso de días secos consecutivos y consideran que para estudiar de manera confiable las variaciones y cambios en el clima es indispensable contar con datos de calidad.

En estudio de índices de eventos extremos de precipitación para la estación climática-meteorológica Augusto Romain (Jujuy) Alabar y otros (2019) determinaron una tendencia decreciente no significativa de las lluvias en un periodo de 32 años. Leaño y otros (2019) analizaron

la precipitación diaria decadal acumulada de la estación meteorológica Jujuy Aero (Jujuy), en el periodo 2008-2017, encontrando una disminución de las mismas.

Entre los eventos extremos más renombrados en la región del Noroeste Argentino (NOA) en los últimos años se encuentra lo sucedido en la localidad de Tartagal provincia de Salta (La Nación, 2009; Página12, 2009) y en la Puna Jujeña, con inundaciones y deslaves en las montañas y sequías extremas, respectivamente. En enero de 2017, localidades de la Quebrada Jujeña, Volcán, Tumbaya y Bárcena, se vieron afectados por un alud causado por lluvias intensas que llevaron a la evacuación de todas sus poblaciones (Jujuy al momento, 2017). El objetivo del trabajo es estimar índices climáticos de precipitación propuesto por ETCCDMI y analizar sus tendencias en 6 estaciones de las provincias de Jujuy y Salta en los periodos 1957-2017; 1968-2017 y 1987-2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros diarios de precipitación de la estación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy en convenio con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de otras cinco estaciones pertenecientes al SMN, localizadas en las provincias de Jujuy y Salta (Tabla 1 y Figura 1). Se consideraron estas estaciones por presentar una serie de registros diarios superiores a 30 años.

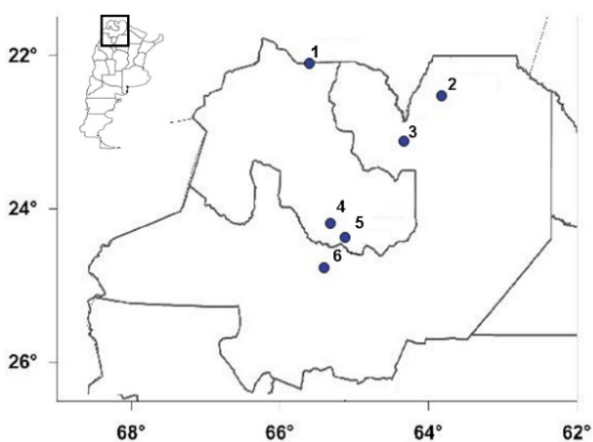


Figura 1. Distribución de las estaciones en estudios.

Tabla 1. Georreferenciación y fechas de registros de las estaciones en estudio.

| Numeración | Nombre de la estación | Latitud | Longitud | Fecha de primer registro* |
|------------|-----------------------|---------|----------|---------------------------|
| 1 | La Quiaca Aero | -22,10 | -65,60 | 01/04/1956 |
| 2 | Tartagal Aero | -22,53 | -63,82 | 01/05/1956 |
| 3 | Oran Aero | -23,13 | -64,33 | 01/01/1957 |
| 4 | Augusto Romain | -24,20 | -65,32 | 01/01/1987 |
| 5 | Jujuy Aero | -24,38 | -65,12 | 01/05/1967 |
| 6 | Salta Aero | -24,78 | -65,40 | 19/02/1925 |

*: Todas las estaciones se encuentran en vigencia en la actualidad.

Se contabilizó el número y porcentaje de datos faltantes para los periodos 1957-2017 (60 años), 1968-2017 (49 años) y 1987-2017 (30 años) para todas las estaciones en estudios que presentan dichos periodos. El período 1957-2017 incluye las estaciones Orán Aero, Tartagal Aero, Salta Aero y La Quiaca Aero, ya que Jujuy Aero y Augusto Romain no cuentan con ésta extensión. Jujuy Aero se suma al análisis en el período 1968-2017 y Augusto Romain para el intervalo 1987-2017.

Los índices climáticos de precipitación se calcularon a partir del programa R-Climdex 1.0 desarrollado por el departamento de investigación climática del servicio meteorológico de Canadá (Zhang y Feng, 2004) y ejecutado por medio del software R versión 3.5.3. Se estimó seis índices climáticos relacionados con eventos de precipitación (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los seis índices climáticos de precipitación (Zhang y Feng, 2004).

| Índice | Definición | Unidad |
|---------|---|--------|
| PRCPTOT | Lluvia total anual | mm |
| R10 | Número de días en un año con precipitación ≥ 10 mm | Días |
| CWD | Mayor número de días consecutivos en un año con lluvias ≥ 1 mm | Días |
| CDD | Mayor número de días consecutivos en un año con lluvias ≤ 1 mm | Días |
| Rx1day | Cantidad máxima de lluvia en 1 día en un año | mm |
| Rx5day | Cantidad máxima de lluvia en 5 días consecutivos en un año | mm |

Se realizó un análisis de consistencia (Quality Control) a los registros de precipitación propuesta en el programa R-Climdex 1.0. Los principales errores de la serie de precipitaciones detectados se debieron a la carga de los datos de acuerdo al programa R-Climdex 1.0, ya que los signos separadores de decimales en algunos casos eran punto, coma y, punto y coma.

La estación Tartagal Aero presenta, en forma porcentual, la mayor cantidad de registros faltantes en los periodos 1957-2017 (10,88%) y 1968-2017 (6,92%), respectivamente (Tabla 3). La estación Salta Aero no presenta ningún registro faltante en los tres periodos analizado.

Tabla 3. Números y porcentaje de registros faltantes

| Estaciones | Números de registros faltantes | | | Porcentaje de registros faltantes | | |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| | 1957-2017 | 1968-2017 | 1987-2017 | 1957-2017 | 1968-2017 | 1987-2017 |
| Oran Aero | 487 | 487 | 0,00 | 2,19 | 2,67 | 0,00 |
| Tartagal Aero | 2423 | 1264 | 0,00 | 10,88 | 6,92 | 0,00 |
| Salta Aero | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| La Quiaca Aero | 25 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,00 |
| Jujuy Aero | - | 79 | 0,00 | - | 0,43 | 0,00 |
| Augusto Romain | - | - | 2,00 | - | - | 0,02 |

-: Sin registros para el periodo analizado.

Los periodos 1968-2017 y 1987-2017 cumplen los criterios recomendados por la OMM para el análisis de tendencias (Vázquez-Aguirre, 2010) que son: un mínimo de 30 años y menos del 10% de datos faltantes (Núñez González y García Suárez, 2018). La serie de precipitación en el periodo 1957-2017 de la estación Tartagal Aero presentó

un porcentaje de 10,88% de datos faltantes. Sin embargo, al tener una desviación de 0,88%, la cual es considerada baja, fue incorporada en el estudio. El test no paramétrico de Mann-Kendall se aplicó para determinar la tendencia y significancia estadística a un nivel de $\alpha=0,05$. El proceso se realizó con la función MannKendall de la librería Kendall

del software R versión 3.5.3. Las series anuales que resultaran significativa al test de Mann-Kendall se graficaron con sus tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados (Belmonte, 2017) utilizando la función lm (modelo lineal).

RESULTADOS

Los valores extremos de pendiente del índice lluvia total anual (PRCPTOT) se presentan en las estaciones Salta Aero (3,081 mm) y Orán Aero (-3,588 mm) en el periodo 1987-2017 (Tabla 4). En el número de días en un año con precipitación ≥ 10 mm (R10) de los tres periodos analizados, el mayor valor de pendiente positiva es de 0,098 y corresponde a la estación Salta Aero del periodo 1987-2017 y el menor valor de pendiente negativa es de 0,063 en La Quiaca Aero.

Con respecto al mayor número de días consecutivos en un año con lluvias ≥ 1 mm (CWD), la estación Orán Aero presentó pendiente negativa en los tres periodos analizados. Además el periodo 1987-2017, presenta el mayor valor de pendiente

positiva (0,014) para la estación Augusto Romain, y el menor valor de pendiente negativa (0,054) en la estación Orán Aero (1987-2017) (Tabla 4).

En los tres periodos analizados, todas las estaciones presentan pendiente positiva para el índice de mayor número de días consecutivos en un año con lluvias ≤ 1 mm (CDD) (Tabla 4), con excepción de la estación Augusto Romain, cuyo valor fue de -0,087, (periodo 1987-2017), lo que implica un aumento en los días con poca precipitación.

Los valores extremos de pendientes del índice cantidad máxima de lluvia en 1 día de un año (Rx1day) ocurrieron en la estación Orán Aero (0,489). El valor positivo en el periodo 1957-2017 y el negativo en 1987-2017 (Tabla 4).

El valor extremo de pendiente del índice cantidad máxima de lluvia en 5 días consecutivos en un año (Rx5day) positiva (0,656) se presenta en la estación Tartagal Aero (periodo 1968-2017) y la menor en Jujuy Aero (0,95) (periodo 1987-2017).

Tabla 4. Pendientes por periodos de las estaciones en estudio.

| Índices | Periodos | Oran Aero | Tartagal Aero | Salta Aero | La Quiaca Aero | Jujuy Aero | Augusto Romain |
|---------|-----------|-----------|---------------|------------|----------------|------------|----------------|
| PRCPTOT | 1957-2017 | 2,322 | -1,482 | 1,095 | 0,215 | - | - |
| | 1968-2017 | 0,511 | -0,784 | 0,250 | -0,354 | -0,958 | - |
| | 1987-2017 | -3,588 | -0,942 | 3,081 | -2,400 | -2,125 | -0,986 |
| R10 | 1957-2017 | 0,050 | -0,021 | 0,051 | 0,038 | - | - |
| | 1968-2017 | 0,024 | 0,030 | 0,042 | 0,009 | 0,022 | - |
| | 1987-2017 | 0,033 | 0,052 | 0,098 | -0,063 | -0,044 | -0,016 |
| CWD | 1957-2018 | -0,015 | -0,001 | 0,003 | 0,007 | - | - |
| | 1968-2018 | -0,050 | -0,003 | -0,012 | 0,002 | -0,008 | - |
| | 1987-2018 | -0,054 | 0,000 | -0,006 | -0,033 | -0,009 | 0,014 |
| CDD | 1957-2018 | 0,442 | 0,478 | 0,582 | 0,462 | - | - |
| | 1968-2018 | 0,739 | 0,858 | 0,549 | 0,578 | 0,742 | - |
| | 1987-2018 | 0,404 | 0,006 | 0,550 | 0,450 | 0,477 | -0,084 |
| Rx1day | 1957-2018 | 0,489 | 0,013 | 0,131 | 0,084 | - | - |
| | 1968-2018 | -0,077 | -0,420 | 0,116 | 0,122 | -0,459 | - |
| | 1987-2018 | -0,489 | -0,883 | 0,216 | -0,089 | -0,166 | -0,046 |
| Rx5day | 1957-2018 | 0,644 | 0,405 | 0,094 | 0,289 | - | - |
| | 1968-2018 | -0,097 | 0,656 | 0,121 | 0,287 | -0,864 | - |
| | 1987-2018 | -0,077 | 0,406 | 0,143 | -0,523 | -0,950 | -0,821 |

En todas las estaciones y períodos analizados, las tendencias de los índices PRCPTOT, R10, CWD y CDD no fueron significativas, según el test de Mann-Kendall. En el periodo 1957-2017, las tendencias de los índices Rx1day y Rx5day en las estaciones Orán Aero (Figura 2) y La Quiaca Aero (Figura 3) resultaron significativa, p-value 0.028 y p-value 0.032, respectivamente.

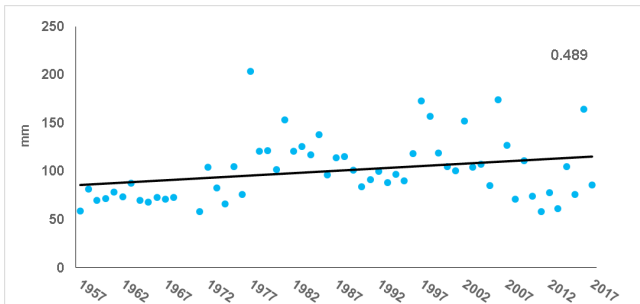


Figura 2. Marcha anual y pendiente del índice Rx1day en el periodo 1957-2017

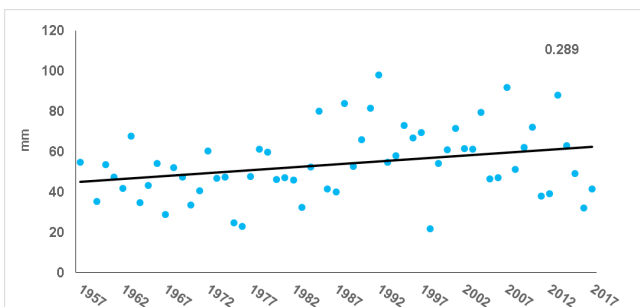


Figura 3. Marcha anual y pendiente del índice Rx5day en el periodo 1957-2017

DISCUSIÓN

Las tendencias de los índices de precipitación estimados confirman las proyecciones y análisis presentados por varios autores (Barros y otros, 2015; Hurtado y otros, 2008; Belmonte, 2017 y Cardona-Guerrero y otros, 2013).

Las series de precipitaciones de la mayoría de las estaciones en estudio presentan sus registros con menos del 10% de los datos faltantes con los que nos permitió evaluar el comportamiento de la tendencia de la marcha anual de los índices climáticos de precipitación.

Las proyecciones de Barros y otros (2015) en la región Cordillerana que incluye las provincias de Jujuy y Salta muestran una tendencia creciente en la precipitación anual (PRCPTOT), y coincide solo en la estación Salta Aero en los tres periodos

analizados. En Orán Aero solo hay una tendencia positiva del PRCPTOT en los dos primeros periodos y en La Quiaca Aero solo en el primer periodo. Tartagal Aero, Jujuy aero y Augusto Romain muestran tendencias negativas en los tres periodos analizados. Los índices R10 y CWD no presentan un patrón de comportamiento similar, varían según los períodos analizados y las estaciones en estudio (Hurtado y otros, 2008).

La variación del índice de CDD en todos los períodos analizados en las estaciones de Orán Aero, Tartagal Aero, Salta Aero, La Quiaca Aero y Jujuy Aero, está de acuerdo con lo informado por Barros y otros (2015), ya que presentan una tendencia creciente en el número máximo de días consecutivos en un año con lluvias ≤ 1 mm.

Las proyecciones positivas de la cantidad máxima de lluvia en 1 día en un año (Rx1day) y de la cantidad máxima de lluvia en 5 días consecutivos en un año (Rx5day), en el periodo 1957-2017, resultaron significativas en las estaciones Orán Aero y La Quiaca Aero, con un incremento de 0,289 mm/años para Rx5day y de 0,489 mm/años en Rx1day. Autores como Belmonte (2017) y Cardona-Guerrero y otros (2013), también establecen en otras regiones de Sudamérica, aumento en la tendencia de los índices de eventos extremos de precipitación.

CONCLUSIÓN

Para la comparación espacial de la variación de los índices climáticos, se recomienda una sola escala de tiempo y con series con menos del 10% de registros faltantes, ya que la pendiente es sensible al periodo considerado. Además, se aconseja estudiar si el cambio en la magnitud de la tendencia al considerar diferentes períodos es estadísticamente significativo, para obtener criterios al definir el periodo de tiempo analizado cuando se trabaja con estaciones que presentan diferentes periodos de registros.

Al trabajar con diferentes periodos se debe considerar el cambio en la magnitud de la tendencia y la significancia estadística de cada una, ya que definen el periodo de tiempo a utilizar cuando se trabaja con estaciones que presentan diferentes periodos de registros.

A excepción de la estación Tartagal Aero, que tiene el mayor número de registros faltantes

en el período 1957-2017, se observa un aumento en la cantidad de lluvia anual en las estaciones Orán Aero, Salta Aero y La Quiaca Aero. El aumento de la precipitación anual puede deberse a dos razones: al incremento de número de días precipitados (tendencia positiva de CWD) y/o aumento en su intensidad (tendencias positivas de CDD, Rx1day y/o Rx5day). En este trabajo se encontraron pendientes negativas en el índice CWD en Orán Aero y valores de pendientes positivas muy bajas en Salta Aero y La Quiaca Aero. Las pendientes positivas en CDD, Rx1day y Rx5day en la Orán aero, Salta Aero y La Quiaca Aero, reflejan un aumento en la intensidad de las precipitaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alabar, F; Hurtado, R; Moreno, C; Valdiviezo Corte, M; Mayo, H y J.M. Solís. (2019). Análisis de tres índices de eventos extremos de precipitación en San Salvador de Jujuy. 30. Recuperado de: http://www.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones_cientificas/Libro_Res%C3%BAmenes_VII_Jo_fhg1li4.pdf
- Barros, v; Vera, C; Agosta, E; Araneo, D; Camilloni, I; Carril, A; Doyle, M; Frumento, O; Nuñez, M; Ortiz de Zárate, M.I; Penalba, O; Rusticucci, M; Saulo, C y S. Solman. (2015). Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Recuperado de: http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3cn_informe.php
- Belmonte, M.L. (2017). Índices de cambio climático en Anguil: tendencias del periodo 1961-2016. Revista Argentina de Agrometeorología, vol (VIII), 29-42. Recuperado de: http://www.crean.unc.edu.ar/files/secciones/Material/Revista_RADA_2017.pdf
- Cardona-Guerrero, F; Ávila-Tendencias en las series de precipitación en dos cuencas torrenciales andinas del Valle del Cauca (Colombia). TecnoLogicas, vol (XVII), 85-95. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v17n32/v17n32a09.pdf>
- Hurtado, R; Faroni, A; Serio, L y H. Vich. (2008). Estudio de las precipitaciones en la región Noroeste de la Argentina. XII Reunión Argentina de Agrometeorología, vol (XII). Recuperado de: <http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/2008-AADA-JUJUY-PPNOA.pdf>
- Jujuy al momento. (2017). Alud en Volcán: ¿Mala ubicación de los poblados o cambio climático?. Recuperado de: <http://www.jujuyalmomento.com/post/62749/alud-en-volcan-mala-ubicacion-de-los-poblados-o-cambio-climatico>
- Klein, M.G; Zwiers, F y X Zhang. (2009). "Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation." World Meteorological Organization, Geneve. 55.
- La Nación. (2019). Lo que no se llevó el alud, se lo llevó el saqueo en Tartagal. <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/lo-que-no-se-llevo-el-alud-se-lo-llevo-el-saqueo-en-tartagal-nid1100196>
- Leaño, M; Solís, J.M; Hurtado, R; Alabar, F y L. Cazón. (2019). Análisis estadístico de las precipitaciones de la estación meteorológica Jujuy Aero, desde 1.968 a 2.017. 56. http://www.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones_cientificas/Libro_Res%C3%BAmenes_VII_Jo_fhg1li4.pdf
- Núñez González, G y J. García Suárez. (2018). Análisis de la calidad de los datos y la tendencia de algunos índices de precipitación en el estado de Jalisco. Revista internacional de estadísticas y geografía, vol (IX), 14-27. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/rde/2018/11/07/analisis-la-calidad-los-datos-la-tendencia-algunos-indices-precipitacion-en-jalisco/>
- Página 12. (2009). El alerta que pesa sobre Tartagal. Recuperado de: <https://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-140712-2010-02-21.html>
- Servicio Meteorológico Nacional (2019). Cambio climático-Servicio climático. Recuperado de: <http://www3.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/>
- Vázquez-Aguirre, J. L. (2010). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología. 88. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/wiriana/guia-indices-cc20101>
- Zhang, X. y F. Feng. (2004). RCLimdex (1.0). Manual de usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J.L. Recuperado de: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>