

# EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN EL NOROESTE ARGENTINO

## EXTREME MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE EVENTS IN NORTHWESTERN ARGENTINA

Fabio Alabar<sup>1\*</sup>, Mónica Valdiviezo Corte<sup>1</sup>, Juan M. Solís<sup>2</sup>, Carla Moreno<sup>1</sup>, Patricia Arias<sup>3</sup>, Marta Leño<sup>2</sup> y Rafael Hurtado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Agroclimatología, <sup>2</sup>Cátedra de Bioestadística y <sup>3</sup>Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy. Jujuy. Argentina. (C.P. 4600)

\*Autor para correspondencia:  
davidalabar@fca.unju.edu.ar

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

Período de Publicación:  
Julio 2022

Historial:  
Recibido: : 25/10/2021  
Aceptado: 05/05/2022

### RESUMEN

Este estudio analiza las tendencias espaciales y temporales en los índices de temperaturas extremas en el Noroeste Argentino (NOA). Los índices de percentiles se calcularon a partir de datos de temperatura mínima y máxima diarios recientemente homogeneizados para el período que posee cada estación y para el periodo 1988-2020, en nueve estaciones del NOA. Los índices que describen las características de los extremos calientes y fríos se calculan con el software RclimDex. Las tendencias anuales y estacionales en estos índices se obtienen usando el ajuste de mínimos cuadrados ordinarios y la significancia estadística probada usando la prueba de Mann-Kendall. Examinando las características de estos índices para toda la región se observa que los patrones espaciales y temporales de las tendencias en los índices indican que se ha experimentado un aumento en la frecuencia de eventos extremos calientes y una disminución en los eventos extremos fríos. Aunque la mayoría de las estaciones tienen tendencias significativas en días cálidos y noches cálidas, la tendencia anual es mayor en noches cálidas. Además, la tendencia anual de las temperaturas máximas y mínimas solo son negativas si se considera todo el periodo de datos para Santiago del Estero y Jujuy Aero para este último índice. Mientras que para el último periodo en estudio todas tienen tendencia positiva. El mayor incremento de los valores extremos se da en La Quiaca con la mayor tasa de incremento en las temperaturas máximas.

**Palabras clave:** extremos, temperatura, tendencia, noroeste argentino.

### SUMMARY

This study analyzes the spatial and temporal trends in extreme temperature indices in Northwest Argentina (NOA). The percentile indices were calculated from recently homogenized daily minimum and maximum temperature data for the period that each station has and for the period 1988-2020, in nine stations in the NOA. Indices describing the characteristics of hot and

cold extremes are calculated using RCLimDex software. Annual and seasonal trends in these indices are obtained using the ordinary least squares fit and statistical significance tested using the Mann-Kendall test. Examining the characteristics of these indices for the entire region, it is observed that the spatial and temporal patterns of the trends in the indices indicate that there has been an increase in the frequency of extreme hot events and a decrease in extreme cold events. Although most seasons have significant trends in warm days and warm nights, the annual trend is greater for warm nights. In addition, the annual trend of maximum and minimum temperatures are only negative if the entire data period for Santiago del Estero and Jujuy Aero is considered for this last index. While for the last period under study all have a positive trend. The greatest increase in extreme values occurs in La Quiaca with the highest increase rate in maximum temperatures.

**Keywords:** extremes, northwest Argentina, temperature, trend.

## INTRODUCCIÓN

Expertos sobre Cambio Climático coinciden en afirmar que, desde la Revolución Industrial ha habido un aumento anómalo en las temperaturas medias globales de la superficie terrestre, pero desde mediados del siglo XIX, se han observado cambios en el sistema climático que no tienen precedente si se comparan con registros históricos observacionales, o con registros paleoclimáticos referidos a los últimos milenios (Stocker et al., 2013). Asimismo, afirman que la variación de las temperaturas ha sido muy alta y el incremento global desde 1880 fue de aproximadamente 0,9°C hacia fin del siglo XX. La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica asevera que, cada una de las últimas tres décadas ha sido más cálida que

todas las anteriores desde 1850, siendo la primera década del siglo XXI la más cálida de todas (NOAA, 2017).

El forzamiento de gases de efecto invernadero es el factor dominante para los aumentos en la intensidad, frecuencia y duración de los extremos cálidos y la disminución de los extremos fríos. La variación de los eventos extremos está modulada por distintos patrones de circulación atmosférica a escala global, retroalimentación tierra-atmósfera a escala regional y local y forzamientos locales tales como cambios en el uso de la tierra o cambios en las concentraciones de aerosoles, lo que provoca distribuciones espaciales heterogéneas en las variaciones de temperaturas extremas (Seneviratne et al., 2021).

El cambio de uso de la tierra, como la deforestación y las prácticas agrícolas, desempeñan un papel importante en la oscilación de las temperaturas extremas en algunas regiones del mundo. La deforestación puede haber contribuido aproximadamente en un tercio del calentamiento de los extremos cálidos en algunas regiones de latitudes medias desde la época preindustrial, y los aspectos de la práctica agrícola, incluida la agricultura sin labranza, el riego y la intensificación general de las tierras de cultivo, constituyen culturas que permiten disminuir las variaciones de las temperaturas extremas (Seneviratne et al., 2021).

En Argentina, Barrucand y Rusticucci (2001 y 2002), Rusticucci y Barrucand (2004) y Rusticucci (2012), destacan la evidencia de una importante disminución de la frecuencia de temperaturas mínimas frías de verano con un análisis que comienza a finales de la década del 70 y un aumento de la frecuencia de temperaturas máximas cálidas en invierno durante la última década estudiada; además la temperatura mínima del aire a 2 metros es la que ha registrado una mayor variación en los últimos años, con una tendencia hacia condiciones más cálidas, durante la estación del verano.

En la región NOA, Hurtado, et al., 2008, para el periodo 1960-2007 con registros de temperaturas máximas y mínimas de ocho localidades de las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Santiago del Estero, observaron un aumento generalizado de la temperatura mínima media anual, que oscila entre 2° y 3,6 °C/100 años, con las mayores tendencias correspondientes a los meses de octubre y marzo. En un estudio de la tendencia y el número de días con temperaturas máximas superiores a umbrales preestablecidos en cuatro localidades de la provincia de Jujuy, Mayo et al., (2014), concluyen que existe una tendencia en aumento en la frecuencia de eventos cálidos.

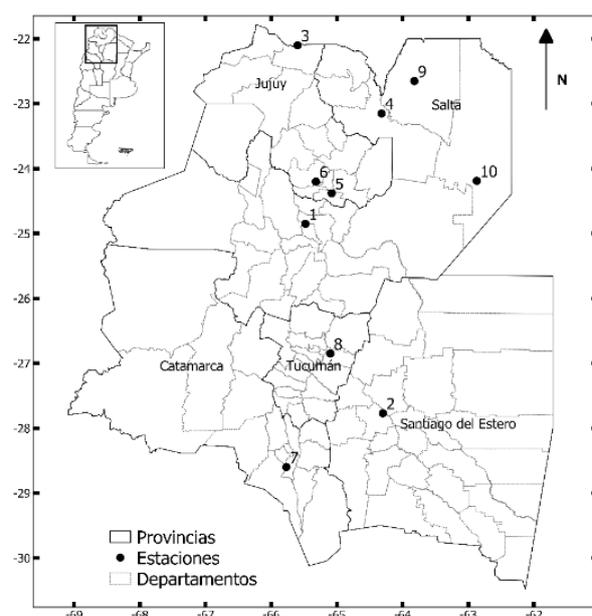
Existe un enorme interés social y científico por cuantificar y comprender las tendencias futuras en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos y su atribución al cambio climático antropogénico. Como por ejemplo, las olas de calor aumentan la morbilidad y la mortalidad, reducen la eficiencia laboral y el rendimiento de los cultivos e intensifican las sequías y los incendios forestales, mientras que las intensas lluvias inducen inundaciones que provocan víctimas humanas, daños a la infraestructura, malas cosechas, deslizamientos de tierra y mayores costos de seguros (Van der

Wiel & Bintanja, 2021). Es por ello, que el objetivo de este trabajo es determinar las tendencias y variaciones de índices de eventos extremos de temperaturas en estaciones de superficie del Servicio Meteorológico Nacional de la región NOA en el periodo con información disponible en cada estación y el periodo 1988-2020.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación (2018-2021) para el análisis de la variabilidad de eventos extremos de diferentes parámetros meteorológicos en el NOA, y constituye una herramienta de avance y difusión de resultados para ser utilizado por un amplio espectro de actores, contribuyendo a enriquecer la discusión de la evolución de los eventos de variabilidad climática y dar herramientas de planificación para la aplicación de políticas de adaptación y mitigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros diarios de temperatura máxima y mínima de la estación Augusto Romain de la Universidad Nacional de Jujuy con convenio con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de otras nueve estaciones pertenecientes a la misma institución, localizadas en las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán y Santiago del Estero (Figura 1 y Tabla 1). Se consideran estas estaciones ya que son las que presentan una serie de registros diarios superiores a treinta años.



**Figura 1.** Distribución espacial de las estaciones meteorológicas de la región del NOA en estudio.

**Tabla 1.** Georreferenciación y fechas de registros de las estaciones meteorológicas en estudios del Noroeste Argentino.

Numeración	Nombre de la estación	Latitud	Longitud	Fecha de primer registro*
1	Salta Aero	-24,85	-65,48	19/02/1925
2	Santiago del Estero Aero	-27,77	-64,30	01/01/1931
3	La Quiaca Aero	-22,10	-65,6	01/04/1956
4	Orán Aero	-23,15	-64,32	22/10/1957
5	Jujuy Aero	-24,38	-65,08	01/05/1967
6	Augusto Romain	-24,20	-65,32	01/07/1987
7	Catamarca Aero	-28,60	-65,77	01/05/1973
8	Tucumán Aero	-26,85	-65,10	01/10/1981
9	Tartagal Aero	-22,65	-63,82	01/05/1956
10	Rivadavia Aero	-24,19	-62,87	01/04/1956

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

Fuente: Estación Meteorológica Universidad Nacional de Jujuy y Servicio Meteorológico Nacional.

Fueron considerados dos periodos para estimar los índices de eventos extremos de temperatura, uno referido a la información meteorológica disponible en cada estación y otro desde 1988 a 2020. Se seleccionó el período con información disponible para conocer la tendencia histórica de los índices de eventos extremos en cada estación,

y el período 1988-2020 para sistematizar todas las estaciones en un solo período y analizar el comportamiento en los últimos 32 años; y 1988 fue seleccionado como año de inicio para el período 1988-2020 ya que todas las estaciones estudiadas tenían información a partir de ese año. A excepción de Santiago del Estero Aero, consideramos la serie de datos a partir del 1 de enero del siguiente año de la fecha de primer registro en el resto de las estaciones para analizar años completos (Tabla 1).

Se calcularon dos índices de temperatura extrema a partir del programa R-Climdex v1.0 desarrollado por el departamento de investigación climática del servicio meteorológico de Canadá (Zhang & Feng, 2004) y ejecutado por medio del software R versión 3.5.3 (R Core Team 2021). Los índices son el número anual medio de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 (TM90P) y el número anual medio de días con temperaturas mínimas menores al percentil 10 (Tm10P), y en ambos se determinó la tendencia anual y los percentiles 90 de la temperatura máxima y 10 de la temperatura mínima para los dos periodos analizados. Se contabilizó el porcentaje de registros diarios faltantes para los periodos con información disponible en cada estación y para el periodo 1988-2020 (Tabla 2).

**Tabla 2.** Porcentajes de registros diarios faltantes de los índices de eventos extremos de temperaturas del periodo disponible y de 1988–2020 de las estaciones meteorológicas del Noroeste Argentino.

Estaciones	Periodos	TM90P	Tm10P	TM90P	Tm10P
				1988-2020	
Salta Aero	1926-2020	3,93	1,14	0,00	0,02
Santiago del Estero Aero	1931-2020	0,91	0,59	0,05	0,06
La Quiaca Aero	1957-2020	0,18	0,17	0,03	0,04
Orán Aero	1958-2020	6,05	4,16	0,08	0,26
Jujuy Aero	1968-2020	0,41	0,39	0,61	0,29
Augusto Romain	1988-2020	0,31	0,31	0,31	0,31
Catamarca Aero	1974-2020	1,97	0,53	2,80	0,75
Tucumán Aero	1982-2020	0,44	0,04	0,51	0,03
Tartagal Aero	1957-2020	19,48	21,84	3,61	8,58
Rivadavia Aero	1957-2020	12,61	33,32	23,16	63,31

Las temperaturas medias anuales se calcularon considerando el promedio de las temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin) diarias de los 365 días del año para los periodos con información disponible y el periodo 1988-2020 en todas las estaciones en estudio. Las tendencias de los índices TM90P, Tm10P, Tmax y Tmin se graficaron en base a una regresión lineal de mínimos cuadrados (Belmonte, 2017). Se contabilizó el porcentaje de registros anuales para los periodos con información disponible y el lapso 1988-2020 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Porcentajes de registros anuales faltantes de los valores extremos de temperaturas del periodo disponible y de 1988 – 2020 de las estaciones meteorológicas del Noroeste Argentino.

Estaciones	Periodo	Tmax	Tmin	1988-2020	
				Tmax	Tmin
Salta Aero	1926-2020	10,64	5,32	0,00	0,00
Santiago del Estero Aero	1931-2020	6,74	3,37	0,00	0,00
La Quiaca Aero	1957-2020	1,59	1,59	0,00	0,00
Orán Aero	1958-2020	11,29	9,68	0,00	3,13
Jujuy Aero	1968-2020	1,92	1,92	3,13	0,00
Augusto Romain	1988-2020	3,13	3,13	3,13	3,13
Catamarca Aero	1974-2020	6,52	4,35	9,38	6,25
Tucumán Aero	1982-2020	5,26	0,00	6,25	0,00
Tartagal Aero	1957-2020	49,21	52,38	6,25	12,50
Rivadavia Aero	1957-2020	44,44	42,86	78,13	75,00

Los índices de eventos extremos de temperatura en aquellas estaciones con porcentaje de registros faltantes mayores al 10% no fueron considerados en este estudio, ya que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sugiere dicho umbral como límite dentro del análisis de tendencias (Tabla 2 y 3) (Núñez et al., 2018). Por lo que se desestimó la evaluación de los índices en la estación Rivadavia Aero (Tablas 2 y 3), tampoco los referidos al periodo con información disponible y Tmin para el periodo 1988-2020 en la estación Tartagal Aero (Tabla 3). Por el mismo criterio, no fueron considerados el índice Tmax en las estaciones Salta Aero y Orán Aero (Tabla 3).

Se aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall para determinar la tendencia y significancia estadística, a un nivel de  $\alpha=0,05$ , a todos los índices en estudio. El proceso se realizó con la función Mann-Kendall de la librería Kendall del software R versión 3.5.3.

En los dos periodos analizados, se determinó

el incremento o disminución de las temperaturas extremas y el número de días superiores e inferiores a los percentiles 90 y 10, respectivamente.

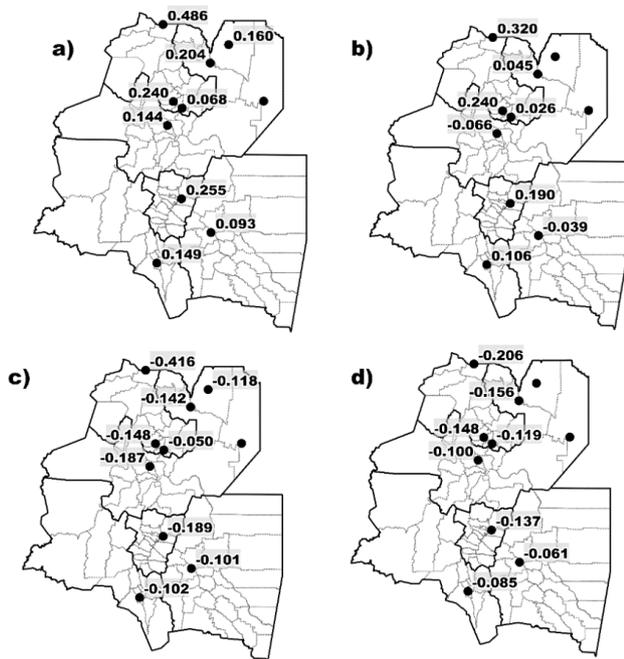
**RESULTADOS**

En el período (1988-2020), el número anual de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 presentó una tendencia en aumento, y el número de días con temperaturas mínimas menores al percentil 10, una disminución (Figura 2.a y 2.c). Al considerar el periodo con información disponible, las tendencias anuales de TM90P son menores con respecto al periodo 1988-2020 en todas las estaciones en estudio (Figura 2.b). Además, se observa un cambio de dirección de pendiente en las tendencias anuales de TM90P para las estaciones Salta Aero y Santiago del Estero Aero (Figura 2.b). Las tendencias anuales de Tm10P para el periodo con información disponible y el lapso 1988-2020 (Figura 2.d y 2.c), presentan un comportamiento inverso, lo que implica una disminución en el número de días con temperaturas debajo del umbral del percentil 10. Las estaciones Orán Aero y Jujuy Aero son las únicas en tener un incremento de la pendiente en los últimos 32 años.

La mayoría de las estaciones en estudio presentaron tendencias con significancia estadística ( $p\text{-value} < 0,05$ ) en los índices TM90P y Tm10P, con excepción en las tendencias del periodo 1988-2020 en las estaciones Jujuy Aero, Catamarca Aero, Tucumán Aero. En las estaciones Jujuy Aero y Orán Aero, en el periodo con información disponible, y Santiago del Estero Aero, en el periodo 1988-2020, para el índice TM90P, no resultaron significativas ( $p\text{-value} > 0,05$ ). El resto de las estaciones y en los dos periodos analizados para los índices TM90P y Tm10P si fueron significativos ( $p\text{-value} < 0,05$ ) según el Test de Mann-Kendall.

Con respecto a los umbrales de temperaturas extremas utilizados para la determinación del número de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 y el número de días con temperatura mínima inferiores al percentil 10 en el periodo 1988-2020 son mayores que en el periodo con información disponible (Tabla 4). En la estación Santiago del Estero Aero se presentan los mayores valores de percentil 90; y en La Quiaca Aero los menores para el percentil 10.

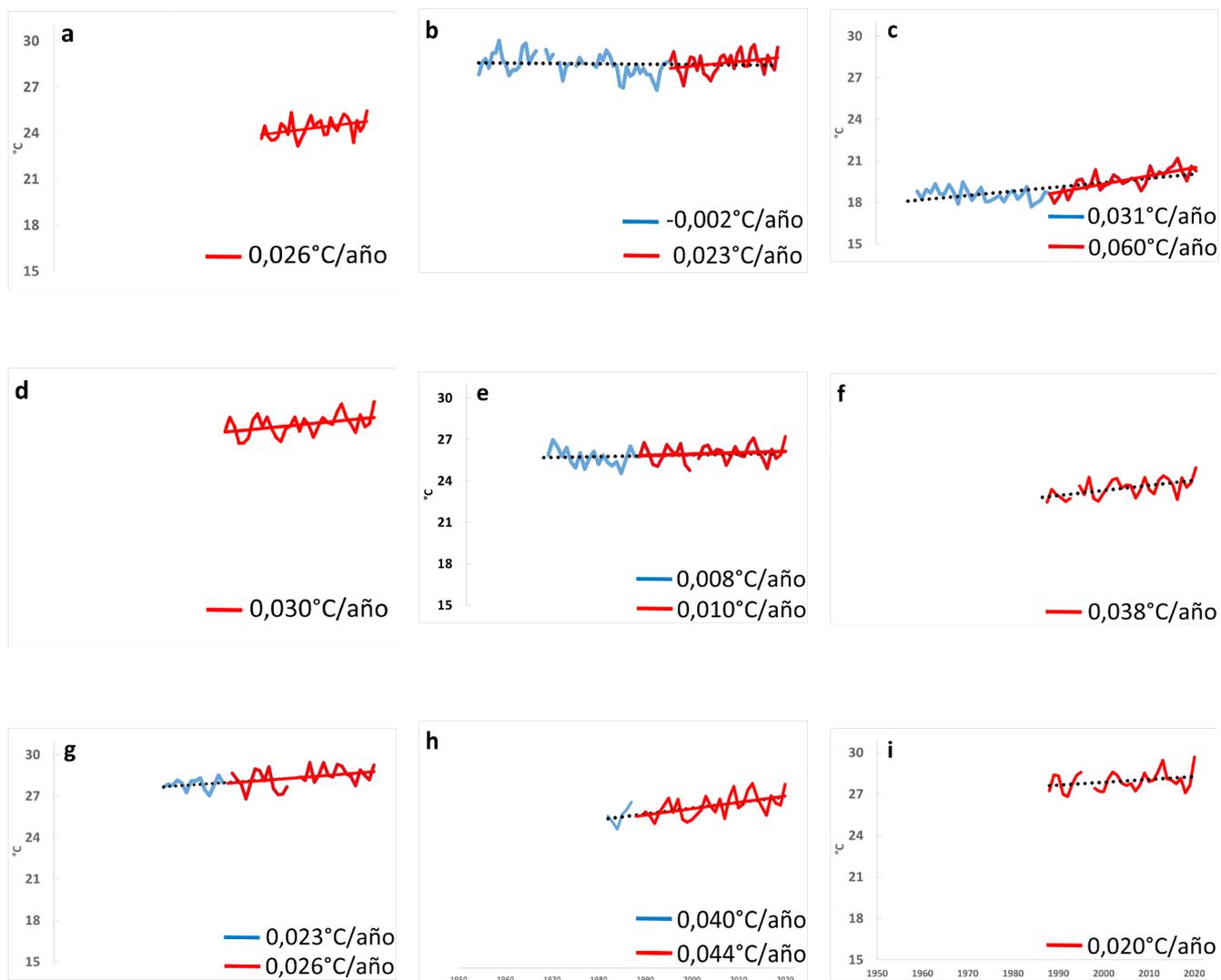
**Tabla 4.** Umbrales para el percentil 90 en temperatura máxima y percentil 10 en temperatura mínima



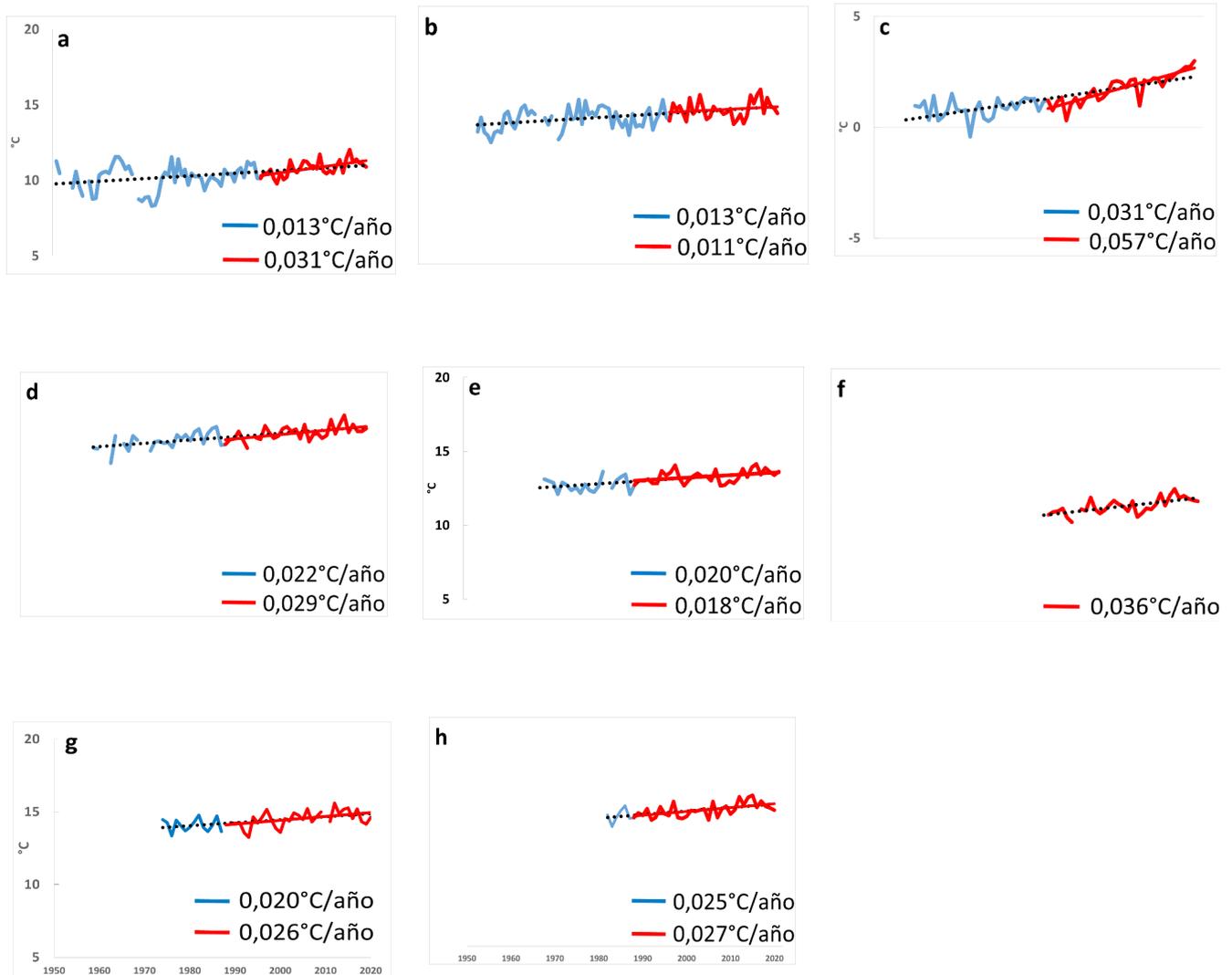
**Figura 2.** Tendencias anuales de índices de eventos extremos. a) Pendiente anual de TM90P para el periodo 1988-2020; b) pendiente anual de TM90P para el periodo con información disponible en cada estación; c) pendiente anual de Tm10P para el periodo 1988-2020; d) pendiente anual de Tm10P para el periodo con información disponible en cada estación.

Estaciones	Periodo	TM90P	Tm10P	1988-2020	
				TM90P	Tm10P
Salta Aero	1926-2020	31,30	1,60	31,10	2,00
Santiago del Estero Aero	1931-2020	37,00	3,20	37,00	3,20
La Quiaca Aero	1957-2020	23,10	-7,30	23,60	-6,80
Orán Aero	1958-2020	35,70	8,30	36,00	8,60
Jujuy Aero	1968-2020	33,30	5,00	33,50	5,20
Augusto Romain	1988-2020	30,60	3,80	30,60	3,80
Catamarca Aero	1974-2020	36,50	4,00	36,70	4,04
Tucumán Aero	1982-2020	34,10	6,20	34,20	6,20
Tartagal Aero	1957-2020			35,80	2,60

Para las temperaturas extremas anuales del periodo 1988-2020 se observa tendencia en aumento en todas las estaciones (Figuras 3 y 4). En el periodo con información disponible, la estación Santiago del Estero Aero, presenta tendencia negativa de la Tmax (Figura 3.b), siendo positiva en el resto de las estaciones en estudio. Las tendencias de Tmax ocurridas durante los últimos 32 años, en todas las estaciones, son mayores a las del periodo con información disponible (Figura 3). En Tmin, a excepción de las estaciones de Jujuy Aero y Santiago del Estero Aero, también se observan pendientes mayores en el último periodo (Figura 4).



**Figura 3.** Temperaturas maximas medias anuales y tendencias de a: Salta Aero, b: Santiago del Estero Aero, c: La Quiaca Aero, d: Oran Aero, e: Jujuy Aero, f: A. Romain, g: Catamarca Aero, h: Tucumán Aero y i: Tartagal Aero



**Figuras 4.** Temperaturas mínimas medias anuales y tendencias. a: Salta Aero, b: Santiago del Estero Aero, c: La Quiaca Aero, d: Oran Aero, e: Jujuy Aero, f: A. Romain, g: Catamarca Aero y h: Tucumán Aero.

Con respecto a la significancia estadística ( $p$ -value < 0,05) del índice Tmax en los dos periodos analizados, no se observan tendencias significativas en las estaciones Santiago del Estero Aero y Jujuy Aero. Del mismo modo, la estación Orán Aero, no presenta pendiente significativa para el periodo con información disponible. Para el lapso 1988-2020, no exhiben tendencias significativas las estaciones de Catamarca Aero y Tartagal Aero para Tmax; y Santiago del Estero para Tmin. El resto de las estaciones y en los dos periodos analizados para los índices Tmax y Tmin sí resultaron significativos ( $p$ -value < 0,05) según el Test de Mann-Kendall.

En todas las estaciones se observa un aumento de las temperaturas extremas en el periodo 1988-

2020, siendo mayor el incremento en la estación La Quiaca Aero (Tabla 5). Santiago del Estero muestra para el periodo con información disponible una disminución de la Tmax (Tabla 5). Los incrementos de Tmax y Tmin en el periodo con información disponible son mayores que en los últimos 32 años (Tabla 5). La disminución de días con temperaturas mínimas menores al percentil 10 se visualiza en ambos periodos de estudio; y a excepción de las estaciones Salta Aero y Santiago del Estero Aero, en el periodo con información disponible, un aumento de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 (Tabla 5).

**Tabla 5.** Incremento anual del número de días y temperaturas extremas del periodo disponible y de 1988 – 2020 de las estaciones meteorológicas del Noroeste Argentino.

Estaciones	Periodo	TM90P	Tm10P	Tmax	Tmin	1988-2020			
						TM90P	Tm10P	Tmax	Tmin
Salta Aero	1926-2020	-6	-9		1,22	5	-6	0,86	1,00
Santiago del Estero Aero	1931-2020	-3	-5	-0,18	1,20	3	-3	0,73	0,37
La Quiaca Aero	1957-2020	20	-13	1,96	1,94	16	-13	1,92	1,83
Orán Aero	1958-2020	3	-10		1,38	7	-5	0,95	0,93
Jujuy Aero	1968-2020	1	-6	0,42	1,04	2	-2	0,31	0,58
Augusto Romain	1988-2020	8	-5	1,21	1,15	8	-5	1,21	1,15
Catamarca Aero	1974-2020	5	-4	1,04	0,94	5	-3	0,84	0,85
Tucumán Aero	1982-2020	7	-5	1,51	0,94	8	-6	1,40	0,87
Tartagal Aero	1957-2020					5	-4	0,65	0,84

**DISCUSIÓN**

Los eventos extremos en las estaciones del NOA se relacionan con el aumento de las temperaturas (máximas y mínimas) extremas en los últimos 32 años (Figuras 2, 3 y 4). Conocer el comportamiento de los índices de eventos extremos del periodo 1988-2020, permite tener un conocimiento de sus tendencias actualizada (Hurtado et al., (2008); Mayo et al., (2014), y encarar planificaciones acordes a situación imperante en cada localidad. Por ejemplo, la localidad de La Quiaca ha sufrido en los últimos años de sequías (El Tribuno, 2020; El Litoral, 2020), situación que llevó a declarar la emergencia hídrica en regiones de Quebrada y Puna de la provincia de Jujuy. En este trabajo encontramos en la estación La Quiaca Aero, las mayores tendencias de índices de eventos extremos de temperaturas que agravarían las condiciones hídricas de la región. El análisis de las tendencias en dos periodos, permitió analizar las estaciones en base a la información disponible en cada una y conocer el comportamiento de todas las estaciones en la región del NOA (Figuras 2, 3, 4). La sistematización del periodo permite tener una

interpretación general de los índices de eventos extremos.

Las tendencias en aumento de las temperaturas extremas en todas las estaciones para los últimos 32 años se corresponden a lo encontrado en la NOAA (2017), al exponer que la primera década del siglo XXI fue la más cálida de todas. Si bien en este trabajo no se estiman promedios de temperaturas extremas en los dos periodos analizados, para confirmar si el aumento de temperaturas tiene precedente se compara con registros históricos observacionales (Stocker et al., 2013), donde el aumento de los umbrales (Tabla 4) muestra que las temperaturas máximas son cada vez más extremas y las temperaturas mínimas aumentan su magnitud en el periodo 1988-2020 con respecto al periodo con información disponible.

En latitudes medias desde la época preindustrial, la deforestación pudo haber contribuido aproximadamente en un tercio del calentamiento de los extremos cálidos (Seneviratne et al., 2021). Las estaciones Tartagal Aero, Orán Aero y Tucumán Aero

se encuentran inmersas en la Selva Pedemontana de la ecorregión de las Yungas Australes. La Selva Pedemontana es el piso altitudinal de las Yungas que históricamente ha tenido mayor presión del hombre por la búsqueda de recursos naturales. Esto se debe a la accesibilidad y a la abundante oferta de los mismos (Brown, 2009). El sector más meridional de la Selva Pedemontana, en cercanías a la estación Tucumán Aero, ha sufrido el mayor impacto de la deforestación lo que contribuyó a la degradación y transformación casi en su totalidad de las áreas boscosas (Malizia et al., 2014). La transformación de la Selva Pedemontana podría ser la responsable del aumento de las temperaturas extremas en la región del Noroeste Argentino. Por lo tanto, en investigaciones futuras, se debería incorporar información sobre deforestación para comprender mejor las posibles causas locales del aumento de temperatura extrema.

Las tendencias positivas registradas en los 4 índices de eventos extremos en los últimos 32 años en todas las estaciones (Figuras 2, 3 y 4), sugieren que el calentamiento continuará en el futuro y las temperaturas máximas serían más extremas a finales de este siglo (Stocker et al., 2013) en la región del Noroeste Argentino. En la estación La Quiaca Aero con condiciones climáticas áridas, encontramos que la ocurrencia de eventos extremos suele ser mayor que en el resto de las estaciones, lo que tendrá un mayor impacto en el patrón de distribución y las características fisiológicas y ecológicas de las especies (Hu et al., 2015, así como en la economía de la región. Si bien en este estudio solo se analizaron los eventos de temperatura extrema, otros estudios (Allen & Ingram 2002; Wang et al., 2017) sugieren una relación entre la temperatura y los eventos de precipitación extrema, que se incrementarán a una tasa de 6 a 7% con el aumento de temperatura a través de la relación de Clausius-Clapeyron (Gao et al., 2018). Los aumentos de temperatura pueden favorecer la ocurrencia de eventos de precipitación extrema en la región del Noroeste argentino, sin embargo, para tener una conclusión concreta, se deben realizar estudios específicos, ya que la relación Clausius-Clapeyron no siempre es consistente (Gao et al., 2018).

En este sentido Alabar et al., (2020), trabajando con las precipitaciones del Noroeste Argentino, encuentra que las proyecciones positivas de la cantidad máxima de lluvia en un día en un año y de la cantidad máxima de lluvia en cinco días consecutivos en un año, en el periodo 1957-2017,

se incrementaron en las estaciones Orán Aero y La Quiaca Aero, en coincidencia con autores como Belmonte (2017) y Cardona-Guerrero et al., (2013), establecen en otras regiones de Sudamérica, un aumento en la tendencia de los índices de eventos extremos de precipitación.

## CONCLUSIONES

Algunas estaciones, ya sea para todo el periodo disponible, o para el lapso 1988 – 2020, fueron desestimadas para la evaluación de los índices debido a la falta de información superior al 10% en cada periodo de estudio, de acuerdo a la OMM. La estación Rivadavia Aero (para ambos periodos), Tartagal Aero, para el periodo disponible y la variable Tmin. Salta Aero y Orán Aero, para la variable Tmax de todo el periodo disponible.

Hay variación en el comportamiento de la tendencia de acuerdo al periodo considerado. Para la variable Tmax, la estación Santiago del Estero presenta una tendencia negativa, considerando todo el periodo en estudio.

El incremento de la pendiente del elemento Tmax es mayor en todas las estaciones para el periodo 1988-2020.

Todas las estaciones tienen un incremento marcado para la Tmin, siendo mayor para el último periodo, con excepción de Jujuy Aero y Santiago del Estero Aero.

El mayor aumento de las temperaturas extremas se observa en La Quiaca, siendo el más importante el de la Tmax para el último periodo.

El número de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 fue positivo para todas las estaciones, en el periodo 1988-2020, solo Salta Aero y Santiago del Estero Aero tuvieron pendientes negativas para el lapso de toda la información disponible.

Lo contrario ocurrió con el número de días con temperaturas mínimas inferiores al percentil 10, donde todas las estaciones tienen pendiente negativa para ambos periodos, pero con una importante disminución generalizada en el número de días con Tm10P en el último periodo.

Este trabajo demuestra un incremento de las temperaturas máximas y un aumento de la ocurrencia de días y noches cálidas y, una

disminución de las noches y los días fríos. Los cambios están asociados a la circulación general de la atmósfera y a efectos locales, pero que se manifiestan a escala global, además sugiere que, si el calentamiento continúa, puede experimentar un futuro más cálido con un impacto severo en los seres vivos y medio ambiente físico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alabar F, Hurtado R, Valdiviezo Corte M y Moreno C. 2020. Análisis temporal de índices climáticos de precipitación de las provincias de Jujuy y Salta. Agrarias. Revista Científica 13. Recuperado de: [http://www.fca.unju.edu.ar/media/revista\\_articulo/trabajo1\\_Alabar\\_y\\_otros.pdf](http://www.fca.unju.edu.ar/media/revista_articulo/trabajo1_Alabar_y_otros.pdf)
- Allen M & Ingram W. 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature* 419. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/nature01092>
- Barrucand M. & Rusticucci M. 2001. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorologica*, 26, 69-84.
- Rusticucci M. & Barrucand M. 2002. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Variabilidad temporal y regional. *Meteorológica*, 26, 85-101. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Matilde-Rusticucci/publication/228916672\\_Climatologia\\_de\\_temperaturas\\_extremas\\_en\\_la\\_Argentina\\_Variabilidad\\_temporal\\_y\\_regional/links/00b4951818a265ce9e000000/Climatologia-de-temperaturas-extremas-en-la-Argentina-Variabilidad-temporal-y-regional.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Matilde-Rusticucci/publication/228916672_Climatologia_de_temperaturas_extremas_en_la_Argentina_Variabilidad_temporal_y_regional/links/00b4951818a265ce9e000000/Climatologia-de-temperaturas-extremas-en-la-Argentina-Variabilidad-temporal-y-regional.pdf)
- Belmonte ML. 2017. Índices de cambio climático en Anguil: tendencias del periodo 1961-2016. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 8, 29-42. Recuperado de: [http://www.crean.unc.edu.ar/files/secciones/Material/Revista\\_RADA\\_2017.pdf](http://www.crean.unc.edu.ar/files/secciones/Material/Revista_RADA_2017.pdf)
- Brown, A. 2009. Manejo sustentable y conservación de la biodiversidad de un ecosistema prioritario del noroeste argentino. En Brown A, Blendinger P, Lomáscolo T & García Bes P. Las selvas pedemontanas de las Yungas. Historia natural, ecología y manejo de un ecosistema en peligro. pp 1-17. Recuperado de: <http://proyungas.org.ar/wp-content/uploads/2014/12/SelvaPedemontanadelasYungas.pdf>
- Cardona-Guerrero F, Ávila AJ, Carvajal-Escobar Y & Jiménez-Escobar H. 2013. Tendencias en las series de precipitación en dos cuencas torrenciales andinas del Valle del Cauca (Colombia). *Tecnológicas*, (17). Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v17n32/v17n32a09.pdf>
- El Litoral. 2020. Declaran la emergencia hídrica en la Quebrada de Humahuaca y Puna jujeña. Recuperado de: [https://www.ellitoral.com/index.php/id\\_um/271522-declaran-la-emergencia-hidrica-en-la-quebrada-de-humahuaca-y-puna-jujena-debido-a-la-sequia-que-castiga-a-esas-zonas-internacionales.html](https://www.ellitoral.com/index.php/id_um/271522-declaran-la-emergencia-hidrica-en-la-quebrada-de-humahuaca-y-puna-jujena-debido-a-la-sequia-que-castiga-a-esas-zonas-internacionales.html)
- El Tribuno. 2020. Preocupan la sequía y falta de pasturas en la Puna. Recuperado de: <https://www.eltribuno.com/jujuy/nota/2020-11-14-1-0-0-preocupan-la-sequia-y-falta-de-pasturas-en-la-puna>
- Gao X, Zhu Q & Yang Z. 2018. Temperature Dependence of Hourly, Daily, and Event-based Precipitation Extremes Over China. *Scientific Reports* (8). Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35405-4>
- Hu XG, Jin YQ, Wang XR, Mao JF & Li Y. 2015. Predicting Impacts of Future Climate Change on the Distribution of the Widespread Conifer *Platycladus orientalis*. *PLoS One*, 10 (7). Recuperado de: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132326>
- Hurtado R, Fernández Long ME, & Serio L. 2008. Tendencias de las temperaturas máximas y mínimas en el Noroeste Argentino. XII Congreso Argentino de Agroclimatología. Jujuy, Argentina. pp. 1-2. Recuperado de: <http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/2008-AADA-JUJUY-PPNOA.pdf>
- Malizia S, García Moritán M & Brown A. 2014. Bitácora, La Ruta del Azúcar, 200 años

promoviendo el desarrollo regional. Recuperado de: [http://proyungas.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Bit%C3%A1cora-ca%C3%B1a-de-azucar\\_web.pdf](http://proyungas.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Bit%C3%A1cora-ca%C3%B1a-de-azucar_web.pdf)

Mayo H., Hurtado R., Moreno C., Valdiviezo Corte M., Portal M.R. y Alabar F. 2014. Análisis del número de días con temperaturas máximas diarias superiores a diferentes niveles térmicos para la provincia de Jujuy. 169-170. Reunión Binacional Uruguay – Argentina de Agrometeorológica y XV Reunión Argentina de Agrometeorológica. Piriápolis. Uruguay. pp. 169-170. En: [http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/AT4-Mayo\\_1.pdf](http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/AT4-Mayo_1.pdf)

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2017. Global Climate report Annual 2017. Recuperado de: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>.

Núñez González G & García Suárez J. 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*, 9, 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>

R Core Team 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de: <https://www.R-project.org/>.

Rusticucci M, & Barrucand M. 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, 17(20), 4099-4107. Recuperado de: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<4099:OTACIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<4099:OTACIT>2.0.CO;2)

Rusticucci, M. 2012. Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. *Atmospheric Research*, 106, 1-17. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809511003619>

Seneviratne SI, Zhang X, Adnan M, Badi W, Dereczynski C, Di Luca A, Ghosh S, Iskandar I, Kossin J, Lewis S, Otto F, Pinto I, Satoh M, Vicente-Serrano SM, Wehner M & Zhou B.

2021. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R & Zhou B (eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. pp 1-366. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_11.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_11.pdf)

Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor MMB, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V & Midgley PM. 2013. *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes*. Recuperado de: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)

Van der Wiel K & Bintanja R. (2021). Contribution of climatic changes in mean and variability to monthly temperature and precipitation extremes. *Communications Earth & Environment* 2, 1. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00077-4>

Wang G, Wang D & Trenberth K. 2017. The peak structure and future changes of the relationships between extreme precipitation and temperature. *Nature Climate Change* (7). Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/nclimate3239>

Zhang X y Feng F. 2004. RCLimindex (1.0). Manual de usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J.L. Recuperado de: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

