



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
GEOHISTÓRICAS RESISTENCIA - CHACO

03, 06 – 10 **SEP 2021**

ACTAS DIGITALES DEL **XL ENCUENTRO** **DE GEOHISTORIA** **REGIONAL**

IX SIMPOSIO

La producción científica en el NEA. Debates y
nuevos horizontes para pensar las ciencias sociales
en la Región

CONICET



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DEL NOROESTE

I I G H I



Bradford, Maia

Actas Digitales del XL Encuentro de Geohistoria Regional : IX Simposio : la producción científica en el NEA : debates y nuevos horizontes para pensar las ciencias sociales en la Región / Maia Bradford ; Karen Dellamea ; Lucía Caminada Rossetti ; compilación de María del Mar Solís Carnicer ; Mariana Leconte. - 1a ed compendiada. - Resistencia : Instituto de Investigaciones Geohistóricas, 2022.

Libro digital, DXReader

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4450-13-5

1. Historia. 2. Geografía. 3. Antropología. I. Dellamea, Karen. II. Caminada Rossetti, Lucía. III. Solís Carnicer, María del Mar, comp. IV. Leconte, Mariana, comp. V. Título.
CDD 907

Actas Digitales del XL Encuentro de Geohistoria Regional. IX Simposio sobre el Estado Actual del Conocimiento del Gran Chaco Meridional

Compiladoras

Dra. María del Mar Solís Carnicer

Dra. Mariana Leconte

Diseño y Diagramación

DG. Cristian Toullieux

© Instituto de Investigaciones Geohistóricas (IIGHI)-CONICET/UNNE

Av. Castelli 930 (3500) Resistencia (Chaco) (Argentina)

www.iighi.conicet.gov.ar

iighi.secretaria@gmail.com

ISBN 978-987-4450-13-5

Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723



Licencia de Creative Commons

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons **Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada** 4.0 Internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Variabilidad interanual de la intensidad de las precipitaciones en el nordeste argentino (1970-2019)

Pedro Samuel Blanco

Instituto de Geografía, UNNE

Introducción

La sociedad global ha estado en alerta durante las últimas décadas debido a los desastres ocasionados por diferentes fenómenos climáticos extremos. Por ejemplo, en distintas partes del mundo se han registrado ciertos eventos meteorológicos e hidroclimáticos que han tenido un impacto significativo en los ambientes naturales y las actividades socioeconómicas de la población, tales como fuertes tormentas graniceras, intensas olas de calor y frío, prolongadas sequías y repentinas inundaciones, etc.

La precipitación es uno de los elementos del clima que más cambios ha experimentado durante los últimos decenios. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2013), desde mediados del siglo XX hasta la actualidad se han desarrollado lluvias con magnitudes y frecuencias cada vez más altas en regiones tales como América del Norte y Europa. Asimismo, a finales del siglo XXI se proyecta que los episodios de intensas precipitaciones se incrementen en la mayoría de los continentes, particularmente en sectores como África occidental, Sureste de Sudamérica, Asia oriental, entre otros.

La intensidad de la precipitación es un parámetro importante porque relaciona el monto pluviométrico con el número de días húmedos que se han computaron en un espacio concreto. Por ello, la variación de dicho índice a través de los años permitiría identificar ciertas señales que den cuenta de los cambios de las lluvias intensas a lo largo del tiempo, lo cual podría contribuir como una herramienta para el diagnóstico y proyección de escenarios futuros de cambio climático regional y global.

En la investigación se pretende analizar la variabilidad interanual de la intensidad de la precipitación para algunas localidades del nordeste argentino durante los últimos 50 años (1970-2019). A partir de ello, los objetivos específicos planteados fueron los siguientes:

- Resumir la información de la variabilidad interanual de la intensidad de las precipitaciones para algunas localidades del espacio de estudio.
- Caracterizar los cambios temporales de la intensidad de la precipitación ocurridos durante el período de análisis.

Marco teórico y antecedentes

A lo largo de la historia de la Tierra se han dado cambios climáticos en distintos niveles espaciales y temporales. En la actualidad, la gran cantidad y variedad de evidencias han podido comprobar que el sistema climático del planeta está experimentando alteraciones progresivas y aceleradas. En tal sentido, la comunidad científica ha reconocido que el clima es dinámico y que sería erróneo pensar que sólo se rige por su comportamiento promedio sin incluir sus variaciones dentro de los umbrales normales y por fuera de ellos en el caso de los eventos atípicos (Poleo, 2016). Por este motivo, un punto clave en todo estudio climatológico es diferenciar los conceptos de “variabilidad climática” y “cambio climático”, ya que son términos que se utilizan frecuentemente como sinónimos y que, en realidad, describen dos cualidades distintas del clima.

Por un lado, la variabilidad climática se refiere a las propias fluctuaciones de las variables atmosféricas y de sus características estadísticas (ej. desviaciones, extremos, etc.) dentro de los umbrales normales de un período relativamente prolongado (de 30 años o más). Por otro lado, el cambio climático es una alteración de los promedios que se escapa de los umbrales normales y se producen modificaciones en los componentes del sistema climático (atmósfera, hidrósfera, biósfera, litósfera, criósfera) que logran perturbar su equilibrio dinámico (Field *et al.*, 2012). De acuerdo con las definiciones anteriores, se entiende que el clima varía a lo largo del tiempo y que la aparición de ciertos “fenómenos extremos” (ej. sequías, inundaciones, tormentas, etc.) no implica que haya habido un cambio climático, dado que los mismos forman parte de la variabilidad del clima. Sin embargo, es necesario considerar que algunos atributos de tales fenómenos como su frecuencia o intensidad pueden verse afectados cuando ocurre un cambio climático, tal y como lo expresa un informe de la Organización Meteorológica Mundial (2011):

Los años 2010, 2005 y 1998 fueron los más cálidos registrados, al igual que el decenio 2001–2010. Éste estuvo protagonizado por numerosos extremos meteorológicos y climáticos, excepcionales en intensidad y en sus repercusiones. Aunque es imposible afirmar que un fenómeno meteorológico o climático haya sido “causado” por el cambio climático, es previsible que la magnitud, frecuencia y duración de los fenómenos extremos resulten alteradas a medida que la atmósfera de la Tierra se caliente debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (p.15).

En las últimas décadas, se ha procurado establecer una serie de indicadores que permitan identificar y analizar los indicios de un cambio climático actual a nivel global. Por ello, el Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (en inglés, *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, ETCCDI de aquí en adelante) ha propuesto un conjunto de índices definidos a partir de la duración, intensidad o persistencia de eventos climáticos de alto impacto y basados en la probabilidad de ocurrencia de valores que exceden ciertos umbrales de un período fijo alrededor de 30 años (Zhang *et al.*, 2011). Tales parámetros poseen ventajas como su aplicabilidad en diversos tipos de climas, sus cálculos sencillos en la mayoría de los casos y sus sólidas propiedades estadísticas (Hartmann *et al.*, 2013). De acuerdo con el ETCCDI, entre los índices planteados se encuentran diez que están vinculados con algunas características de la precipitación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índices de cambio climático relacionados con las precipitaciones, propuestos por el ETCCDI. Fuente: Modificado de Zhang *et al.* (2011).

Nombre del índice (ID)	Definición	Unidad
Monto máximo de precipitación en 1 día (RX1day)	Precipitación máxima mensual consecutiva de 1 día	mm
Monto máximo de precipitación en 5 días (RX5day)	Precipitación máxima mensual consecutiva de 5 días	mm
Índice simple de intensidad diaria (SDII)	Cociente entre el total anual de precipitación y el número de días húmedos (≥ 1 mm)	mm/día
Número de días con precipitación fuerte (R10)	Recuento anual cuando la precipitación es ≥ 10 mm	días
Número de días con precipitación muy fuerte (R20)	Recuento anual cuando la precipitación es ≥ 20 mm	días
Días secos consecutivos (CDD)	Número máximo de días consecutivos cuando la precipitación es < 1 mm	días
Días húmedos consecutivos (CWD)	Número máximo de días consecutivos cuando la precipitación es ≥ 1 mm	días
Días muy húmedos (R95p)	Precipitación total anual en días con un monto $>$ percentil 95	mm
Días extremadamente húmedos (R99p)	Precipitación total anual en días con un monto $>$ percentil 99	mm
Precipitación total anual en días húmedos (PRCPTOT)	Precipitación total anual en días con un monto ≥ 1 mm	mm

En virtud de los diferentes indicadores del ETCCDI, en la presente investigación se destaca uno de ellos que se refiere a la intensidad diaria de la precipitación o índice simple de la intensidad diaria (en inglés, *Simple daily intensity index*, SDII de aquí en adelante). Este parámetro relaciona el monto pluviométrico con el número de días húmedos o con precipitación para un lugar determinado y, tal como se muestra en la ecuación 1, se calcula de la siguiente manera:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (1)$$

SDII_j: Índice simple de intensidad diaria de la precipitación para el período j.

RR_{wj}: cantidad de precipitación en días húmedos para el período j.

W: número total de días húmedos en el período j.

w: día húmedo o con precipitación (RR ≥ 1 mm).

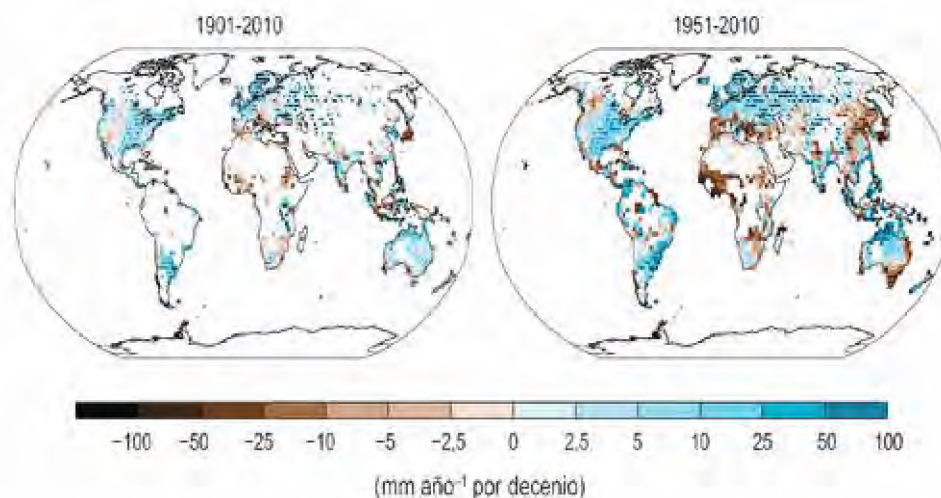
Dadas las variables involucradas en el SDII, siguiendo las nociones de Cuadrat y Pita (1997), se definen a ellas con base en un evento de precipitación: por un lado, el monto pluviométrico es la cantidad de agua caída que fue recogida en un recipiente colector ubicado a nivel del suelo o cerca de él y se lo indica en milímetros de altura; mientras que, por otro lado, el número de días húmedos alude a un registro donde se computa el total de días durante un período concreto (ej. una semana, un mes, una estación, un año, etc.) en que se produjeron lluvias que han superado los 0,1 mm. Por tales conceptos, el SDII está expresado en milímetros por día húmedo (mm/día) y, gracias a ello, el índice es fácilmente replicable en cualquier región del planeta, permitiendo hacer comparaciones de resultados que se obtengan en lugares con distintos regímenes climáticos.

Algunos estudios vinculados a la intensidad diaria de la precipitación corresponden trabajos científicos de carácter global, tales como los de Donat *et al.* (2013) y Attogouinon *et al.* (2017), quienes detectaron que las lluvias extremas en diferentes sectores del planeta están incrementándose cada vez más en cantidad, frecuencia y magnitud. Otras contribuciones de índole regional al tema son las de Gallego *et al.* (2006) y Hong y Ying (2018), donde identificaron un aumento sostenido y acelerado de la intensidad de la precipitación en la península ibérica y en la República de China, respectivamente.

En cuanto a los antecedentes de la temática en el nordeste argentino, se destaca un breve apartado en la tesis doctoral de Bruniard (1981) donde describió la variación espacial de la intensidad pluviométrica en las planicies del norte argentino, como así también la investigación de Blanco (2020) donde analizó las tendencias de la intensidad de la precipitación para la región. Este último autor concluyó que dicha variable en el nordeste argentino ha tenido un crecimiento sostenido durante los últimos 50 años, aunque también notó que hubo décadas en las que se dieron tendencias decrecientes.

Si se examinan las tendencias de las precipitaciones anuales por década en el mundo durante el último siglo, se observa que en ciertas regiones existe un incremento de los montos pluviométricos al año, mientras que en otros sectores se dan disminuciones con diferentes magnitudes (Figura 1). De hecho, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2013) ha expuesto que “el nivel de confianza en los cambios de las precipitaciones promediadas sobre las zonas terrestres a escala mundial desde 1901 es bajo, antes de 1951, y medio, a partir de ese año” (p.5). A partir de esta premisa, se considera que los estudios de los diferentes atributos de las precipitaciones (ej. duración, frecuencia, intensidad, etc.) resultan importantes para complementar el análisis de dicho elemento del clima en el contexto del cambio climático global.

Figura 1. Tendencias observadas de la precipitación anual por década, entre 1901 y 2010, y entre 1951 y 2010, para zonas continentales a nivel mundial. Fuente: Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2013, p.8).



Metodología

Figura 2. Ubicación geográfica de las localidades dentro del espacio de estudio. Fuente: Elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).



En la investigación se utilizaron datos anuales de la intensidad diaria de la precipitación durante el período 1970-2019 para 12 localidades ubicadas en las provincias del nordeste argentino (Figura 2). La información fue extraída del sitio web del Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS de aquí en adelante), quien ha aplicado el paquete `climindex.pcic` del software R[®] para calcular los diferentes índices de cambio climático propuestos por el ETCCDI, empleando una base de datos diarios de estaciones meteorológicas de Argentina (148 en total) y otros países de Sudamérica (Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay).

A partir de los datos recopilados del SDII, se realizó un tratamiento estadístico que consistió en el cálculo de medidas descriptivas de variabilidad y tasas de variación relativa para cada localidad de estudio durante el período 1970-2019. La variabilidad de un conjunto de datos es una propiedad estadística muy importante porque se indica cómo y cuánto cambia un fenómeno de interés. En tal sentido, al cuantificar la variabilidad a través de medidas descriptivas y tasas de variación, se logra analizar el grado de dispersión o concentración de los datos de una variable determinada.

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (2018), la variabilidad puede medirse en términos absolutos o relativos. Por una parte, la variabilidad absoluta se refiere a la variación de los datos que está expresada en la misma unidad de medida de la variable de estudio. Por otra parte, la variabilidad relativa alude a una comparación entre la variación de un conjunto de datos y alguna medida de tendencia central (ej. promedio aritmético, mediana, moda), de allí que ésta se indica en porcentaje para una mejor interpretación. Según las definiciones anteriores, cuando algún valor de variabilidad es igual a cero, entonces se está exhibiendo que el fenómeno es constante, lo cual no resulta de interés a los fines estadísticos.

Por un lado, las medidas descriptivas de variabilidad corresponden a estadísticos que sintetizan distintos aspectos de la variabilidad de una variable concreta (ej. grado de homogeneidad, desviación respecto a la tendencia central, campo de variación, etc.). Según Chamussy *et al.* (1974), algunas medidas descriptivas de variabilidad son las siguientes:

- Desviación absoluta respecto al promedio: variación relativa de cada dato de la muestra respecto al promedio del conjunto total. Permite ver cuánto se desvía un dato respecto a la media aritmética en términos absolutos, por lo que se expresa en la misma unidad de medida que la variable de análisis (para la intensidad pluviométrica es mm/día).
- Desviación estándar muestral: grado de dispersión o concentración promedio de los datos respecto a la media aritmética. Como es una medida adimensional, puede compararse entre distintas distribuciones. Cuanto mayor es el valor de la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos y más heterogeneidad tiene el conjunto.
- Varianza muestral: variabilidad promedio de los datos respecto al promedio, se calcula como el cuadrado de la desviación estándar muestral y es una medida adimensional.
- Rango o amplitud: campo de variación de la variable de estudio, cuyo cálculo consiste en la diferencia algebraica entre el máximo y el mínimo valor de la muestra. Es una medida descriptiva que se expresa en la misma unidad de medida que la variable de análisis (para la intensidad pluviométrica es mm/día) y está afectada por los valores extremos.
- Rango intercuatílico: campo de variación del 50% de los datos centrados en la mediana, se calcula como la diferencia algebraica entre el tercer y primer cuartil. Permite comparar la concentración de la mitad de los datos alrededor de la mediana para distintas distribuciones y se indica en la misma unidad de medida que la variable de análisis (para la intensidad pluviométrica es mm/día).
- Coeficiente de variación: medida relativa que compara un estadístico de dispersión respecto a otro de centralización, se calcula como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética. Permite identificar el grado de homogeneidad de distintas distribuciones y se expresa en porcentaje.

Por otro lado, las tasas de variación relativa corresponden a números índices especiales para cuantificar una comparación entre un dato y otro del mismo tipo, pero de un período de referencia diferente. Las tasas de variación relativa que se emplearon en este trabajo fueron las siguientes:

XL ENCUESTRO DE GEOHISTORIA REGIONAL (2021)

- La tasa de variación relativa del período completo (1970-2019) muestra cuánto ha crecido o decrecido la variable desde el inicio hasta el final del período, se calcula según la ecuación 2:

$$r_{i+n/i} = \left(\frac{Y_{i+n}}{Y_i} - 1 \right) * 100 \quad (2)$$

r : tasa de variación relativa (en porcentaje).

Y_i : año i , valor del año de referencia dentro del período de estudio.

Y_{i+n} : valor del último año del período de estudio.

n : número total de años del período de estudio.

- La tasa de variación media acumulativa del período completo (1970-2019) exhibe el valor promedio que ha tenido que disminuir o incrementarse la variable año tras año hasta llegar a la cifra del último año, se computa según la ecuación 3:

$$\dot{r}_{i+n} = \left[\left(\frac{Y_{i+n}}{Y_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad (3)$$

$\dot{r}$: tasa de variación media acumulativa (en porcentaje).

Y_i : año i , valor del año de referencia dentro del período de estudio.

Y_{i+n} : valor del último año del período de estudio.

n : número total de años del período de estudio.

- La tasa de tasa de variación relativa anual con base en el período anterior al i -ésimo año indica cuánto ha descendido o aumentado la variable en un año respecto al sucesivo anterior, se estima según la ecuación 4:

$$r_{i/i-1} = \left(\frac{Y_i}{Y_{i-1}} - 1 \right) * 100 \quad (4)$$

r : tasa de variación relativa (en porcentaje).

Y_i : año i , valor del año de referencia dentro del período de estudio.

Y_{i-1} : período anterior al i -ésimo año, valor anterior al dato que se quiere comparar.

Para el cálculo de las ecuaciones 3 y 4 se consideró como base al año 1970, mientras que en la ecuación 5 se tomó como referencia al período anterior al i -ésimo año (Y_{i-1}). En tal sentido, las tasas de variación del período completo y de la media acumulativa han servido para examinar la variabilidad interanual promedio de las series, a diferencia de la variación relativa anual que se usó para identificar las fluctuaciones interanuales del indicador en un año respecto del período anterior.

Resultados

La variabilidad interanual media de la intensidad diaria de la precipitación puede sintetizarse en un conjunto de estadísticos o descriptores de variabilidad para cada una de las localidades del nordeste argentino (Cuadro 2). En principio, la desviación estándar y la varianza son dos medidas que están estrechamente relacionadas, ya que la segunda corresponde al cuadrado de la primera y ello permitiría hacer diferentes interpretaciones sobre la variabilidad del objeto de estudio. Por un lado, las desviaciones estándar muestran valores similares para la mayoría de los casos (entre 2,6 y 2,8 exceptuando a Bella Vista con 3,4), lo cual implica que las intensidades pluviométricas en el nordeste argentino tienen un comportamiento parecido entre sí a través de los años. Sin embargo, la varianza destaca algunas situaciones puntuales con variabilidades interanuales semejantes como en Resistencia, Las Breñas, Colonia Benítez, Corrientes, Monte Caseros y Posadas (cifras entre 7 y 8,5 de varianza). A comparación de los demás lugares, Bella Vista ha presentado la varianza más alta (11,8), por lo que posee la mayor dispersión de sus intensidades pluviométricas.

Los rangos de variación para las distintas localidades del nordeste argentino se describen a continuación: las mayores amplitudes alrededor de 15-17 mm/día se encuentran en Las Breñas, Bella Vista y Posadas, mientras que las menores se hallan en los lugares restantes, siendo Las Lomitas el de menor campo de variación (9,6 mm/día). En resumen, en el nordeste argentino durante el período 1970-2019 se identifican variabilidades absolutas que van de 10 a 17 mm/día.

En cuanto a los rangos intercuartílico, la mayoría de los casos tienen valores de 3-4 mm/día, destacándose Resistencia, Sáenz Peña y Colonia Benítez con amplitudes más grandes (4-5 mm/día) y Formosa con el rango más pequeño respecto a las demás localidades (2,9 mm/día). Tales características indican que, cuanto más alta sea la cifra del rango intercuartílico (como ocurre con Resistencia, Sáenz Peña y Colonia Benítez), más heterogéneo es el 50% de los datos centrados en la mediana y, por ende, corresponden a la mayor variabilidad del conjunto total.

El coeficiente de variación muestra que Las Lomitas, Las Breñas y Bella Vista tienen los valores más altos del indicador respecto a otros lugares, por lo que éstos también demuestran la mayor heterogeneidad y variabilidad promedio de la intensidad diaria de la precipitación. Los demás casos tienen coeficientes parecidos entre sí (13-16% aproximadamente), por lo que son distribuciones más homogéneas.

Cuadro 2. Medidas descriptivas de variabilidad de la intensidad diaria de la precipitación para algunas localidades del nordeste argentino. Fuente: Elaboración propia.

Localidades	Desviación estándar muestral	Varianza muestral	Rango	Rango intercuartílico	Coeficiente de variación
Formosa Aero	2,6	6,9	14,3	2,9	14,6
Las Lomitas	2,6	6,8	9,6	3,8	17,1
Resistencia Aero	2,9	8,5	12,3	4,9	16,2
Pcia. R. Sáenz Peña Aero	2,6	6,6	10,5	4,1	16,1
Las Breñas Inta	2,7	7,2	15,8	3,4	18,3
Colonia Benítez Inta	2,8	7,9	11,5	4,1	15,8
Corrientes Aero	2,8	8,0	12,0	3,8	15,0
Bella Vista Inta	3,4	11,6	17,3	3,4	18,1
Monte Caseros Aero	2,7	7,2	10,5	3,8	14,4
Paso de los Libres Aero	2,6	6,9	11,7	3,4	14,1
Posadas Aero	2,8	8,1	15,0	3,2	14,4
Puerto Iguazú Aero	2,6	6,8	12,3	3,7	13,7

Al computar las desviaciones absolutas de la intensidad diaria de la precipitación respecto al promedio del período 1970-2019, se obtienen 50 datos para cada localidad de estudio. Por lo tanto, si se grafica esa información en un boxplot se podría analizar el comportamiento normal y extremos (outliers o valores atípicos) de la variabilidad interanual absoluta de la intensidad pluviométrica (Figura 3).

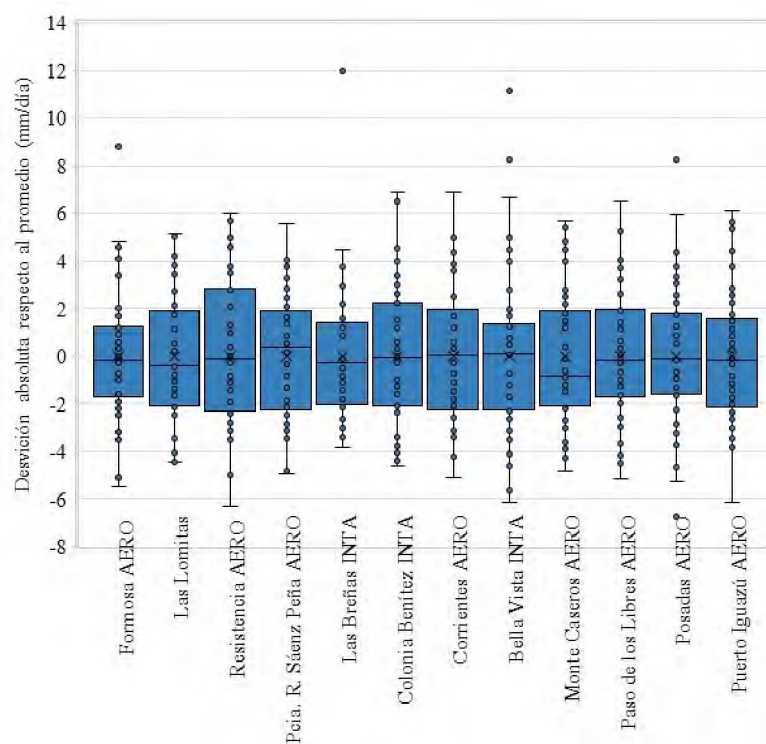
En general, la mayoría de las localidades tienen desviaciones absolutas que fluctúan entre -7 y 7 mm/día sin considerar el efecto de los outliers. Esto quiere decir que en el nordeste argentino se da un campo de variación normal de la intensidad pluviométrica de 14 mm/día aproximadamente para el período 1970-2019. Sin embargo, algunos casos han registrado valores atípicos de las desviaciones absolutas respecto al promedio de la variable de estudio, como Formosa (uno de 8,8 mm/día en 2004), Las Breñas (uno de 12 mm/día en 2019), Bella Vista (dos outliers, uno de 11,2 mm/día en 2013 y otro de 8,3 mm/día en 2010) y Posadas (dos outliers, uno de 8,2 mm/día en 2014 y otro de -6,8 mm/día en 1978). Estas situaciones particulares indican que, en diferentes ocasiones, el nordeste argentino ha experimentado intensidades diarias de la

precipitación muy marcadas respecto al comportamiento normal de las series de datos, es decir, intensidades pluviométricas muy por encima o muy por debajo de la variabilidad promedio en términos absolutos.

La variabilidad interanual de la intensidad diaria de la precipitación puede estudiarse mediante la tasa de variación relativa de la serie completa, donde se comparan los valores del primer y el último año que constituyen el período considerado (1970 y 2019, respectivamente) para cada localidad del nordeste argentino. La mayoría de los casos han tenido un crecimiento de la intensidad de la lluvia desde el inicio hasta el final del período, aunque los cambios han sucedido con diferentes magnitudes. Por ejemplo, Las Breñas tuvo un aumento más pronunciado (alrededor de 140%) a diferencia de los lugares. Por su parte, Resistencia y Monte Caseros también se destacan dado que sus incrementos han sido entre 40% y 60%, mientras que en los restantes lugares fueron menores a dicho rango. En cuanto a Bella Vista y Puerto Iguazú, la intensidad pluviométrica ha disminuido un 6,2% y 11,6%, respectivamente (Figura 4).

A partir de las características descriptas se puede decir que, entre los años 1970 y 2019, algunas localidades han tenido cambios más notables que otras en la intensidad diaria de la precipitación. Sin embargo, tal aseveración no resulta suficiente para explicar la variabilidad del objeto de estudio, por lo que se analizó la variación media acumulativa del período completo, que indica el valor promedio que cada localidad ha tenido que incrementar o disminuir año tras año hasta alcanzar la cifra del último período (2019).

Figura 3. Boxplot de las desviaciones absolutas de la intensidad diaria de la precipitación respecto al promedio del período 1970-2019 para algunas localidades del nordeste argentino. Fuente: Elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).



En principio, las estaciones meteorológicas que han aumentado su intensidad pluviométrica lo hicieron con diferentes magnitudes: Monte Caseros (0,7%), Resistencia (0,9%) y Las Breñas (1,8%) son las tres localidades que más han incrementado sus valores año tras año hasta registrar la cifra del último período anual, mientras que en los demás lugares se dieron crecimientos medios que no superaron los 0,5%. Por su parte, Bella Vista y Puerto Iguazú han manifestado una disminución promedio año tras año del 0,1% y 0,2%, respectivamente (Figura 5).

Figura 4. Tasa de variación relativa del período completo (1970-2019) de la intensidad diaria de la precipitación para algunas localidades del nordeste argentino. Fuente: Elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).

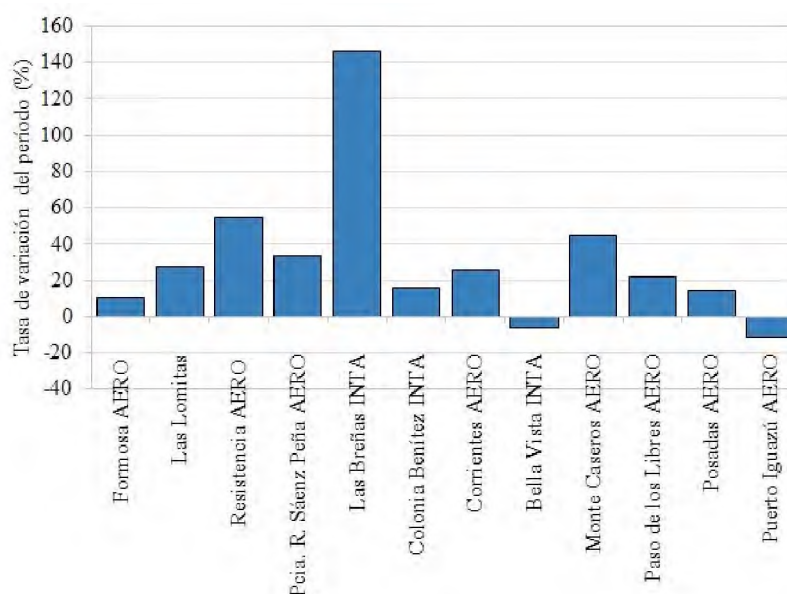
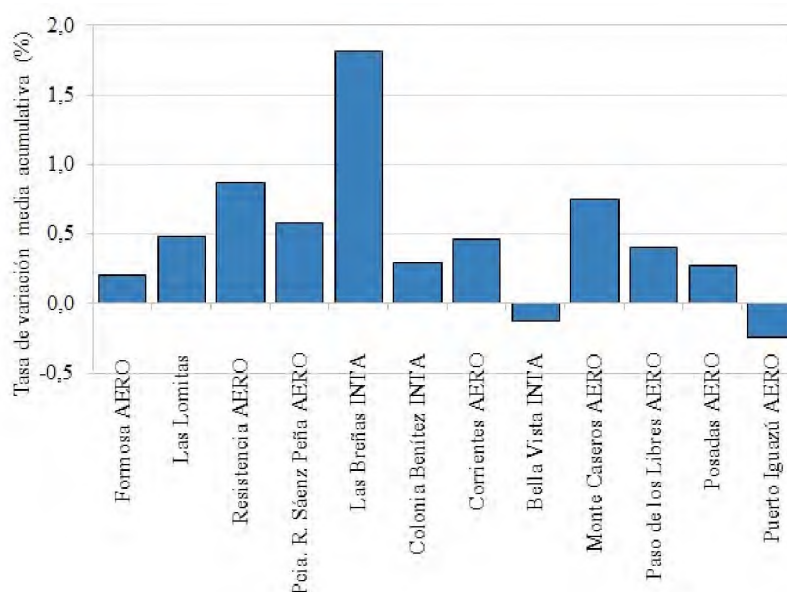


Figura 5. Tasa de variación media acumulativa del período completo (1970-2019) de la intensidad diaria de la precipitación para algunas localidades del nordeste argentino. Fuente: Elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).



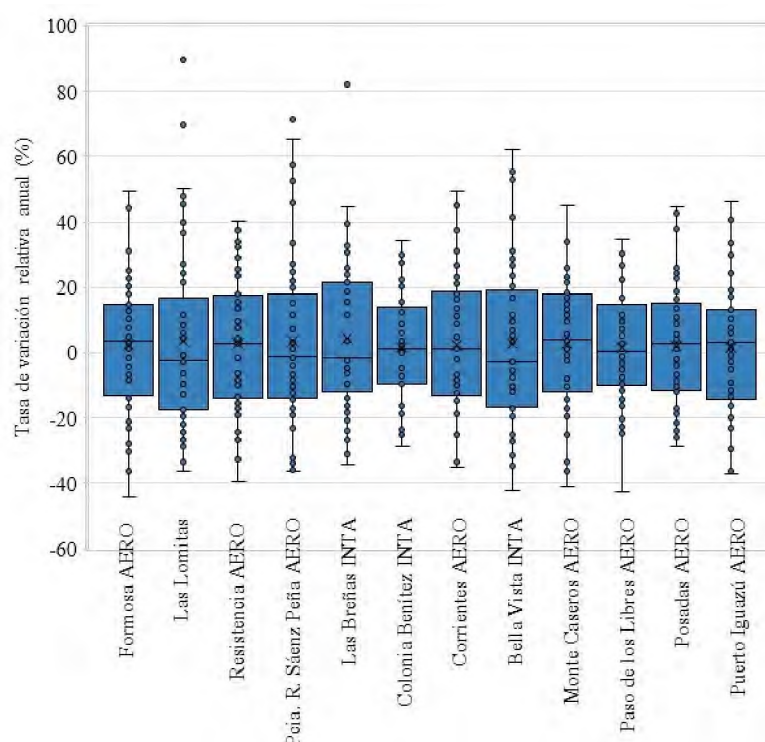
Dado que las tasas de variación relativa y la media acumulativa del período completo son índices distintos, sus resultados presentan diferentes aspectos de la variabilidad del fenómeno de análisis: el primer caso expresa cuánto ha crecido o decrecido la variable considerando sólo los años de inicio y fin del período, mientras que el segundo caso exhibe la cantidad que la variable ha incrementado o disminuido año tras año en la serie temporal. Por lo tanto, los cambios son más marcados cuanto mayor es la diferencia entre dichas tasas. A simple vista se detecta que, por una parte, Las Breñas tiene la mayor diferencia entre las tasas a comparación del resto de las estaciones (con 55,3% aproximadamente) y, por otra parte, en las demás localidades se dan en un rango de 0% a 11%. Cabe destacar que los casos con tasas negativas se asocian con aquellos lugares donde disminuyó la intensidad pluviométrica, como son Bella Vista y Puerto Iguazú (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diferencias entre las tasas de variación relativa del período completo y la media acumulativa de la intensidad diaria de la precipitación para algunas localidades del nordeste argentino. Fuente: Elaboración propia.

Localidades	Tasa de variación relativa del período completo	Tasa de variación media acumulativa multiplicada por n datos	Diferencia
Formosa Aero	10,6	10,0	0,6
Las Lomitas	27,3	24,2	3,1
Resistencia Aero	54,4	43,6	10,8
Pcia. R. Sáenz Peña Aero	33,3	28,9	4,4
Las Breñas Inta	146,3	91,0	55,3
Colonia Benítez Inta	15,6	14,5	1,1
Corrientes Aero	26,0	23,2	2,8
Bella Vista Inta	-6,2	-6,3	0,1
Monte Caseros Aero	45,0	37,3	7,7
Paso de los Libres Aero	21,9	19,9	2,1
Posadas Aero	14,6	13,6	1,0
Puerto Iguazú Aero	-11,5	-12,2	0,7

Si bien la tasa de variación relativa del período completo y la media acumulativa son índices útiles, para examinar las fluctuaciones reales que han sucedido entre los años se ha calculado las tasas de variación relativa anual tomando como base el período sucesivo anterior al *i*-ésimo año. Al agrupar los datos en un boxplot se sintetizó el comportamiento de variación relativa anual de la intensidad diaria de la precipitación para cada localidad (Figura 6).

Figura 6. Boxplot de las tasas de variación relativa anual con base en el período sucesivo anterior al *i*-ésimo año (1970-2019) de la intensidad diaria de la precipitación para algunas localidades del nordeste argentino. Fuente: Elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).



En primer lugar, para la mayoría de las localidades se observa que los rangos intercuartílicos de la

variación relativa anual de la intensidad pluviométrica se comprenden aproximadamente entre los -20% y 20%, lo cual indica que entre dichos valores se concentra la mitad de los datos que se ubican alrededor de la mediana. En segundo lugar, los mínimos para todas las estaciones se encuentran entre los -20% y -50%, mientras que los máximos se dan entre los 40% y 60% (salvo excepciones como Las Breñas con más de 60% o Colonia Benítez y Paso de los Libres con menos de 40%). En tercer lugar, algunos casos presentaron valores atípicos de la variación relativa anual, como Las Breñas (uno), Las Lomitas (dos) y Pcia. Roque Sáenz Peña (uno). Como ejemplo de outliers se puede mencionar el caso de Las Lomitas que registró en 1991 un incremento aproximado de 90% respecto del año anterior, lo que indicaría un cambio brusco de la intensidad de la precipitación respecto del año 1990.

Conclusión

En general, las diferentes localidades ubicadas en el nordeste argentino han mostrado un comportamiento promedio similar de la variabilidad interanual de la intensidad diaria de la precipitación durante el período 1970-2019. En términos absolutos, los campos de variación de la región se dan entre 10 y 17 mm/día, pero se destaca que hay semejantes distribuciones con mayor homogeneidad a comparación de otros grupos más heterogéneos. En cuanto a las variabilidades absolutas extremas, algunos eventos atípicos dentro del período completo fueron detectados a través del boxplot, como los casos de Formosa en 2004 o Las Breñas en 2019, de allí que esto sería importante al momento de considerar posibles alteraciones en los patrones normales de las precipitaciones intensas como consecuencia de un posible cambio climático regional.

También, la mayoría de los casos han registrado un incremento de la intensidad de las lluvias durante los últimos 50 años de estudio, aunque los cambios sucedieron con diferentes magnitudes: algunas localidades han registrado un crecimiento más pronunciado que otras. En este sentido, el conocimiento de la variabilidad interanual de la intensidad diaria de la precipitación permitiría desarrollar diferentes mecanismos de adaptación y mitigación ante los impactos que podrían producir eventos de lluvias extremas en el nordeste argentino. De tal manera, la vulnerabilidad y el riesgo se reducirían considerablemente para aquellos ambientes y sociedades más expuestas a dichos eventos.

Referencias bibliográficas

- Attogouinon, A., Lawin, A., N'Tcha M'Po, Y., y Houngue, R. (2017). "Extreme precipitation indices trend assessment over the upper Oueme River Valley-(Benin)", *Hydrology Vol. 4 N°36* [En línea]. Puesto en línea el 10 de julio de 2017, consultado el 2 de febrero de 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2306-5338/4/3/36>; DOI: 10.3390/hydrology4030036
- Blanco, P. S. (2020). "La intensidad de las precipitaciones y el cambio climático: tendencias y variabilidades interanuales registradas en algunas localidades del Nordeste Argentino (Período 1971-2019)", *Geográfica digital Vol. 17 N°34* [En línea]. Puesto en línea el 18 de septiembre de 2020, consultado el 15 de enero de 2021. URL: <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/geo/article/viewFile/4481/4385>; DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/geo.17344481>
- Bruniard, E. (1981). *El clima de las planicies del norte argentino* (Tesis doctoral), Resistencia, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste.
- Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (01/06/2020). *Monitoreo de índices de extremos climáticos*. s/l: Organización Meteorológica Mundial (OMM). Recuperado de: https://www.crc-sas.org/es/monitoreo_extremos_climaticos.php
- Chamussy, H., Charre, J., Dumolard, P, Durand, M. G. y Le Berre, M. (1974). *Initiation aux méthodes statistiques en Géographie*, París, Masson et Cie.

Cuadrat, J. y Pita, M. (1997). *Climatología*, Madrid, Cátedra Geografía, 2º edición.

Donat, M., Alexander, L., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R., ... Kitching, S. (2013). "Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118 N°5 [En línea]. Puesto en línea el 23 de enero de 2013, consultado el 2 de febrero de 2021. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrd.50150>, DOI: 10.1002/jgrd.50150

Field, C., Barros, V., Stocker, T., Qin, D., Dokken, J., Ebi, K., Mastrandrea, M., Mach, K., Plattner, G., Allen, S., Tignor, M., y Midgley, P. (eds.). (2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas* (Informe especial del IPCC). Recuperado del sitio de internet del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/IPCC_SREX_ES_web-1.pdf

Gallego, M., García, J., Vaquero, J., & Mateos, V. (2006). "Changes in frequency and intensity of daily precipitation over the Iberian Peninsula", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* Vol. 111 N°D24 [En línea]. Puesto en línea el 19 de diciembre de 2006, consultado el 18 de enero de 2021. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006JD007280>, DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JD007280>

Hartmann, D., Klein Tank, A., Rusticucci, M., Alexander, L., Brönnimann, S., Charabi, Y., ... Zhai, P. (2013). "Observations: Atmosphere and Surface". En: T. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, y P. Midgley (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, pp. 159-254.

Hong, Y., y Ying, S. (2018). "Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices", *Advances in Climate Change Research* Vol. 9 N°4 [En línea]. Puesto en línea el 12 de enero de 2019, consultado el 20 de enero de 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/advances-in-climate-change-research/vol/9/issue/4>, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2019.01.001>

Organización Meteorológica Mundial (2011). *Los extremos meteorológicos y el cambio climático: retrospectiva de las predicciones* (OMM-N°1075). Recuperado de https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=6016#.YPN95-hKJIU

Organización Meteorológica Mundial (2018). *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-N°100, Tiempo-Clima-Agua). Recuperado de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2013). *Cambio climático 2013: Bases físicas, Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes* (Informe del Grupo de trabajo I del Panel Intergubernamental de Cambio Climático). Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

Poleo, D. (2016). "¿Cambio climático o variabilidad climática? Historia, ciencia y política en el clima mesoamericano", *Revista de Ciencias Ambientales* Vol. 50 N°1 [En línea]. Puesto en línea el 29 de agosto de 2016, consultado el 20 de enero de 2020. URL: www.revistas.una.ac.cr/ambientales, DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.50-1.2>

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G., Jones, P., Tank, A., Peterson, T., ... Zwiers, F. (2011). "Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* Vol. 2 N°6 [En línea]. Puesto en línea el 31 de octubre de 2011, consultado el 15 de diciembre de 2019. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/wcc.147>, DOI: 10.1002/wcc.147