



La intensidad de las precipitaciones y el cambio climático: tendencias y variabilidades interanuales registradas en algunas localidades del Nordeste Argentino (Período 1971-2019)

Rainfall intensity and climate change: trends and interannual variabilities registered in some localities of the Northeast Argentina (1971-2019 period)

Blanco, Pedro S.¹

¹Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). pedrosamuelblanco@gmail.com

RESUMEN

Palabras Claves:

Índices de Extremos Climáticos
Monto Pluviométrico
Número de Días Húmedos
Evolución Temporal
Nordeste Argentino

La intensidad de la precipitación es un índice que relaciona la cantidad de lluvia en función del tiempo. Su importancia radica no solo en la influencia que ejerce sobre el espacio geográfico, sino que también es considerada como un indicador de extremo climático, dado que las precipitaciones intensas tuvieron cambios significativos durante las últimas décadas.

En diferentes sectores del planeta se registraron lluvias cada vez más intensas y que se dieron con mayor frecuencia, lo cual aumenta los riesgos en los ambientes y sociedades más expuestas. En este sentido, el análisis de tendencias y variabilidades de la intensidad pluviométrica permitiría desarrollar mecanismos de adaptación y mitigación.

El objetivo es estudiar el comportamiento temporal de la intensidad de la precipitación, examinando sus tendencias y variabilidades interanuales durante los últimos 50 años (1970-2019), para algunas localidades del nordeste argentino. En la investigación se llevó a cabo un tratamiento estadístico de datos anuales de intensidad de la precipitación. Se utilizó la técnica de análisis de series temporales, donde se estimó la tendencia por medio de la regresión lineal simple y se examinó la variabilidad interanual a partir del cálculo de diferentes de tasas de variación relativa.

En general, la intensidad pluviométrica en el nordeste argentino experimentó un incremento sostenido en los últimos 50 años, pero hubo decenios donde la variable tuvo una tendencia decreciente. Asimismo, en el espacio de estudio se dieron cambios en la variabilidad interanual del indicador, pero tales variaciones fueron más evidentes en algunos casos particulares.

ABSTRACT

Keywords:

Climatic Extremes Indices
Pluviometric Amounts
Number of Wet Days
Temporal Evolution
Argentina Northeast.

Rainfall intensity is an index that relates the amount of rainfall as a function of time. Its importance lies not only in the influence it has on the geographic space, but it is also considered as an indicator of extreme climatic, given that the intense rainfall had significant changes during the last decades.

More and more intense rains were registered in different sectors of the planet and they occurred with greater frequency, which increases the risks in the most exposed environments and societies. In this sense, the analysis of trends and variabilities of rainfall intensity would allow the development of adaptation and mitigation mechanisms.

The goal is to study the temporal behavior of the rainfall intensity, examining its trends and interannual variabilities during the last 50 years (1970-2019), for some localities in Argentine

Recibido: 14/08/2020

Aceptado: 18/09/2020

northeast. In the research, a statistical treatment of annual rainfall intensity data was carried out. The time series analysis technique was used, where the trend was estimated through simple linear regression and the interannual variability was examined from the calculation of different relative variation rates.

In general, rainfall intensity in argentine northeast experienced a sustained increase in the last 50 years, but there were decades where the variable had a decreasing trend. Likewise, in the study space there were changes in the interannual variability of the indicator, but such variations were more evident in some particular cases.

1. Introducción

A lo largo de la historia, las personas y comunidades han sufrido de diferentes maneras los impactos generados por ciertos eventos atmosféricos (fuertes tormentas graniceras, intensas olas de calor y frío, prolongadas sequías y repentinas inundaciones, etc.). En la actualidad, tales fenómenos considerados como extremos climáticos están experimentando acelerados cambios significativos en sus frecuencias y magnitudes, situación que pone en alerta a la sociedad global debido a los potenciales desastres que ellos podrían producir en el presente y futuro.

Desde la década de 1950 se han advertido alteraciones en el comportamiento normal de diferentes fenómenos climáticos con distintos niveles de probabilidad de ocurrencia, tal y como lo expone el [Panel Intergubernamental de Cambio Climático \(2013\)](#):

Es muy probable que el número de días y noches frías haya disminuido y que el número de días y noches cálidas haya aumentado a escala mundial, y es probable que en gran parte de Europa, Asia y Australia haya aumentado la frecuencia de las olas de calor. Es probable que existan más regiones en las que haya aumentado el número de sucesos de precipitaciones intensas que en las que haya disminuido, y es probable que la frecuencia o intensidad de las precipitaciones intensas haya aumentado en América del Norte y Europa. En otros continentes existe, como máximo, un nivel de confianza medio en los cambios ocurridos relativos a los sucesos de precipitaciones intensas. (p.5)

Algunos de los cambios fueron asociados a influencias antropogénicas, como el incremento de las temperaturas cálidas o las mayores frecuencias de eventos de precipitación intensa en diferentes partes del mundo; sin embargo, hasta el momento se considera que es erróneo afirmar con certeza que el cambio climático es el responsable de tales variaciones de los fenómenos atmosféricos extremos porque éstas podrían ser causadas por la variabilidad natural interna de los mismos ([Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2013](#)).

La comunidad científica ha procurado establecer de distintas maneras un vínculo entre los eventos meteorológicos extremos y el cambio climático, para entender las bases físicas que rigen el comportamiento conjunto de ambos. En tal sentido, con el objetivo de cuantificar la relación antes mencionada, 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 desarrollado un conjunto de indicadores aplicables a escala global y regional que permiten identificar tendencias y variaciones de diferentes propiedades de la temperatura y la precipitación ([Zhang et al., 2011](#)), teniendo en cuenta que dichas variables atmosféricas son las más importantes dado que sus alteraciones podrían repercutir significativamente en los ambientes naturales y las actividades socio-económicas.

Uno de los indicadores propuestos por el ETCCDI corresponde a la intensidad diaria de la precipitación, el cual se define como un índice que expresa la cantidad de lluvia caída en función del tiempo. Dicho índice resulta de especial interés para el cambio climático porque ha sufrido importantes alteraciones de su comportamiento medio en diferentes partes del planeta ([Hartmann et al., 2013](#)).

La intensidad de la precipitación influye decisivamente en la configuración del espacio geográfico, de allí que los conocimientos sobre su distribución y su variación en el tiempo servirían para la planificación territorial ([Martín-Vide, 1991](#)) o serían útiles para investigaciones de Climatología Aplicada ([Albentosa Sánchez, 1976](#)). Asimismo, en el contexto del cambio climático, la identificación de tendencias y variabilidades del indicador permitiría desarrollar mecanismos de adaptación y mitigación para reducir los riesgos y vulnerabilidades de los ambientes más sensibles y las sociedades más expuestas ante eventos de precipitaciones intensas.

A modo de contribución en el Eje Temático “Evidencias Científicas del Cambio Climático”, el presente trabajo tiene por objetivo general estudiar el comportamiento temporal de la intensidad de las

precipitaciones en las provincias del noreste argentino para los últimos 50 años (1970-2019). Dado que las series de tiempo para elementos climáticos pueden distinguirse en diferentes componentes (Fischer, 1995), en la investigación sólo se examinaron las tendencias y variabilidades interanuales teniendo en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- Identificar tendencias en series de intensidad de las precipitaciones para algunas localidades ubicadas en el espacio de estudio.
- Describir la variabilidad interanual de la intensidad pluviométrica durante el período de análisis.

2. Antecedentes

La intensidad de la precipitación es un indicador climático estudiado por diferentes disciplinas, especialmente en lo que se refiere a su distribución espacial y su comportamiento temporal, por lo que existe una gran variedad de publicaciones acerca del tema. Uno de los antecedentes más importantes es el trabajo realizado por Bruniard (1981) donde describe un breve apartado de su Tesis doctoral las variaciones espaciales de la intensidad pluviométrica para las planicies del norte argentino.

En el contexto del cambio climático, las tendencias y variaciones temporales de la intensidad de la precipitación fueron aspectos abordados en distintos trabajos, cuyos resultados han expuesto una serie de hallazgos interesantes. Por ejemplo, a nivel mundial, se detectó que hay sectores donde las cantidades, intensidades y frecuencias de precipitación extrema van incrementándose cada vez más (Donat *et al.*, 2013; Attogouinon *et al.*, 2017) y se identificó que los cambios de las propiedades mencionadas varían según el período y el espacio de análisis (Moutahir *et al.*, 2014).

Otras investigaciones específicas sobre las tendencias de la intensidad pluviométrica, aunque éstas de carácter regional, han expuesto conclusiones relevantes sobre el indicador. Por ejemplo, hacia el noroeste de Tailandia se observó un aumento de los montos, frecuencias, duraciones e intensidades de las precipitaciones orográficas (Diaraku *et al.*, 2004), igualmente se advirtió un incremento significativo en la magnitud de las lluvias ligeras en la península ibérica (Gallego *et al.*, 2006). Asimismo, en la República de China se notó que el ritmo de crecimiento de la intensidad de la precipitación se aceleró a partir de la década de 1990 (Hong & Ying, 2018). Por su parte, algunos estudios locales sobre el indicador también han demostrado tendencias crecientes sostenidas y cambios pronunciados en las últimas décadas (Serrano Vincenti *et al.*, 2012; García *et al.*, 2017).

Dado que la intensidad de la precipitación ha experimentado incrementos y fluctuaciones en distintos sectores del planeta, se comprobó que tales variaciones han afectado a la superficie terrestre durante la segunda mitad del siglo XX (Frich *et al.*, 2012). En efecto, algunos autores realizaron proyecciones a futuro de la variable y estimaron que las precipitaciones intensas podrían ser más fuertes y con mayor frecuencia (Kusunoki & Arakawa, 2012; Nakayama *et al.*, 2012).

También, algunos trabajos se enfocaron en reconocer patrones en el comportamiento de la intensidad de la precipitación como, por ejemplo, que los máximos del indicador no coincidían con la mayor frecuencia de las lluvias en las regiones tropicales de los continentes (Biasutti & Yuter, 2013), o bien, que los cambios de la intensidad pluviométrica estaban dados por las oscilaciones atmosféricas propias de la variabilidad natural del clima (Torres Alavez *et al.*, 2010).

Por último, otras contribuciones científicas que abordan temáticas de estrecha relación con la intensidad pluviométrica se refieren, por ejemplo, a la asociación del fenómeno con la precipitación máxima esperada y la duración de la lluvia (Lorente Castelló *et al.*, 2013) o la relación entre el número de días lluviosos y los índices de concentración (Monjo & Martin-Vide, 2016).

3. Marco teórico

A lo largo de la historia de la Tierra se han registrado cambios del clima a nivel local, regional y global. En efecto, hoy en día no cabe duda de que el planeta ha experimentado alteraciones en las condiciones medias del sistema climático, dada la gran cantidad y variedad de evidencias científicas que fueron comprobando tal situación.

En la actualidad, se reconoce que el clima es dinámico y que es erróneo pensar que sólo se rige por las normales sin incluir sus variaciones (Poleo, 2016). Ciertamente, las características climáticas de un lugar están dadas tanto por el comportamiento promedio de las variables atmosféricas, como así también

por las fluctuaciones y valores extremos registrados a lo largo de un período relativamente prolongado (por ejemplo, más de un decenio).

En las últimas décadas, la comunidad científica se ha interesado por investigar sobre los cambios en las condiciones climáticas y los impactos que podrían tener en la naturaleza y la sociedad. Por tal motivo, se ha requerido de establecer algunas definiciones comunes a nivel mundial de ciertos conceptos claves para entender la condición fluctuante del clima del planeta.

En principio, entre los términos más importantes se encuentran la “variabilidad climática” y el “cambio climático”, los cuales no son considerados como sinónimo hoy en día ya que reflejan dos cualidades del clima bien diferenciadas. La variabilidad climática se refiere a las propias fluctuaciones de las variables atmosféricas y de sus características estadísticas (desviaciones, sucesos extremos, etc.) dentro de los umbrales normales de un período climatológicamente concreto (entre 10 y 30 años, aproximadamente), mientras que el cambio climático es una alteración de los promedios que se escapa de los umbrales normales y se generan modificaciones en los componentes del sistema climático que perturban su equilibrio dinámico (Field *et al.*, 2012).

Contrariamente a la variabilidad climática, en la noción de cambio climático es posible advertir tres caracteres fundamentales que sintetizan su diferencia con una mera anomalía u fluctuación del clima (Cuadrat y Pita, 1997):

- El sistema no vuelve a su estado anterior, es decir, tiende hacia otro estado diferente hasta alcanzar el equilibrio.
- El cambio afecta a todo el sistema dado que los componentes del mismo están interconectados entre sí.
- Las anomalías locales no logran compensarse porque lo que cambia es el equilibrio del sistema.

De acuerdo con las definiciones presentadas, tanto en la variabilidad como en el cambio climático se contemplan los extremos de las variables atmosféricas y, por ello, resulta conveniente especificar qué se entiende por “fenómeno climático extremo”. Tal y como lo expresan Field *et al.* (2012), podría considerarse a un fenómeno climático como extremo cuando se registra un valor de una variable meteorológica por encima o por debajo de los umbrales superior e inferior, respectivamente, del rango normal de observaciones. Por su parte, Méndez Tejada (2018) explica que los eventos atmosféricos adquieren la característica de extremos en función de la intensidad con la que impacte en el sistema, y no depende sólo de la forma en que se manifieste.

En resumen, un fenómeno extremo no sólo se define desde un enfoque estadístico, sino que también deben considerarse los impactos que genera. Así pues, ante cambios significativos en los valores extremos, los ambientes naturales y las sociedades actuales se encuentran con serios desafíos para la adaptación y mitigación de los efectos de dichas variaciones, sobre todo en el contexto de un clima fluctuante (Klein Tank *et al.*, 2009).

Para contar con un conocimiento más profundo sobre los fenómenos climáticos extremos se han realizado esfuerzos por detectarlos y medirlos a través de un conjunto de indicadores descriptivos. Bajo estos objetivos, el ETCCDI ha propuesto una serie de índices de cambio climático que se basan, por un lado, en la probabilidad de ocurrencia de valores dados o excesos de un umbral absoluto o relativo (en un período climatológico fijo) y, por otro lado, se definen en relación a la duración, intensidad o persistencia de eventos atmosféricos de alto impacto (Zhang *et al.*, 2011).

Los índices de cambio climático o de extremos climáticos describen características particulares de los fenómenos extremos, incluyendo su frecuencia, magnitud y/o persistencia. La Tabla 1 muestra 25 índices básicos de temperatura y precipitación, cuyos cálculos requieren de una base de datos diarios de dichas variables y pueden efectuarse para cualquier corte espacial y temporal. En este sentido, las ventajas de los índices son su aplicabilidad en diversos tipos de climas y sus sólidas propiedades estadísticas (Hartmann *et al.*, 2013).

Tabla 1. Índices de extremos climáticos propuestos por el ETCCDI.

Nombre del índice	ID	Definición	Unidad
Máxima mensual de la temperatura máxima diaria	TXx	Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
Máxima mensual de la temperatura mínima diaria	TNx	Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
Mínimo mensual de la temperatura máxima diaria	TXn	Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
Mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	TNn	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
Noches frías	TN10p	Porcentaje de tiempo en que la temperatura mínima diaria es < percentil 10	%
Días fríos	TX10p	Porcentaje de tiempo en que la temperatura máxima diaria es < percentil 10	%
Noches cálidas	TN90p	Porcentaje de tiempo en que la temperatura mínima diaria es > percentil 90	%
Días cálidos	TX90p	Porcentaje de tiempo en que la temperatura máxima diaria es > percentil 90	%
Amplitud o rango diario de la temperatura	DTR	Diferencia media mensual entre la temperatura máxima y mínima diaria	°C
Duración de la temporada de crecimiento	GSL	Recuento anual (del 01/enero al 31/diciembre en el Hemisferio Norte y del 01/julio al 30/junio en Hemisferio Sur) entre el primer período de al menos 6 días con TG > 5°C y el primer período después del 01/julio (01/enero en el HS) de 6 días con TG < 5°C	días
Días con heladas	FD0	Recuento anual de la temperatura mínima diaria < 0°C	días
Días de verano	SU25	Recuento anual de la temperatura máxima diaria > 25°C	días
Noches tropicales	TR20	Recuento anual de la temperatura mínima diaria > 20°C	días
Indicador de duración de la ola de calor	WSDI	Recuento anual de al menos seis días consecutivos de temperatura mínima > percentil 19	días
Indicador de duración de la ola de frío	CSDI	Recuento anual de al menos seis días consecutivos de temperatura mínima < percentil 10	días
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

Fuente: modificado de Zhang *et al.* (2011).

En virtud de su aplicación para diferentes escalas espaciales y temporales, los índices de extremos climáticos han permitido elaborar un conjunto de estimaciones que dan cuenta de las señales del cambio climático global, situación que puede advertirse en distintas variables meteorológicas (Hegerl *et al.*, 2004; cfr. Field *et al.*, 2012). Por ejemplo, la precipitación y sus propiedades han sufrido variaciones con ciertos

niveles de confianza, según lo expuesto por [Hartmann et al. \(2013\)](#):

Es probable que las influencias antropógenas hayan afectado al ciclo global del agua desde 1960, influencias que han contribuido a los aumentos observados en el contenido de humedad en la atmósfera (nivel de confianza medio), a los cambios a escala global en los patrones de precipitación en la superficie terrestre (nivel de confianza medio), a la intensificación de precipitaciones fuertes sobre regiones continentales donde se dispone de suficientes datos (nivel de confianza medio). (p.17) [...] Es muy probable que para el final de este siglo sean más intensos y frecuentes los fenómenos de precipitación extrema en la mayoría de las masas térrreas de latitud media y en las regiones tropicales húmedas. (p.23) [...] Es probable que desde aproximadamente 1950 haya habido más regiones en las que el número de precipitaciones intensas sobre tierra haya aumentado que en las que haya disminuido. El nivel de confianza es más alto en el caso de América del Norte y Europa, donde es probable que se haya producido un aumento ya sea en la frecuencia o en la intensidad de las precipitaciones fuertes, con algunas variaciones estacionales y regionales. (p.43) [...] Los aumentos de episodios de precipitaciones extremas, por ejemplo, son coherentes con el calentamiento del clima. Los análisis de zonas terrestres con datos suficientes indican un aumento de la frecuencia e intensidad de los episodios de precipitaciones extremas en los últimos decenios, pero los resultados varían considerablemente entre regiones y estaciones. (p.125)

4. Materiales y métodos

4.1. Los datos y sus fuentes

La investigación fue abordada desde un diseño cuantitativo, donde se llevó a cabo un tratamiento estadístico de datos anuales de intensidad de la precipitación (período 1970-2019), para 12 estaciones meteorológicas dependientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN de aquí en adelante). La [Figura 1](#) muestra la localización de las estaciones meteorológicas trabajadas dentro del área de estudio (provincias que integran la región nordeste de la República Argentina: Chaco, Corrientes, Formosa y Misiones).

Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas del SMN dentro del espacio de estudio.



Fuente: elaboración propia con base en datos del [Sistema Nacional de información Hídrica \(2020\)](#).

Los datos fueron suministrados por la página web oficial del Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS de aquí en adelante). Este organismo ha utilizado el paquete climdex.psic del software R® para calcular los diferentes índices de extremos climáticos propuestos por el ETCCDI, utilizando una base de datos diarios de temperatura y precipitación para estaciones meteorológicas de Argentina (148 en total) y de otros países de Sudamérica (Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay).

Tal y como se expresó en el marco teórico, entre los índices de extremos climáticos del ETCCDI se encuentra la intensidad diaria de la precipitación (expresada en milímetros por día húmedo al año, o bien, mm/día), que se refiere a un parámetro básico de aplicación global donde se relaciona a la cantidad de lluvia caída en un lugar en función del tiempo. El Índice simple de intensidad diaria (en inglés, *Simple daily intensity index*, SDII de aquí en adelante) se calcula de la siguiente manera:

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

Ecuación 1. Fórmula del Índice simple de intensidad diaria (SDII_j).

Donde:

- SDII_j: Índice simple de intensidad diaria de la precipitación para el año *j*.
- RR_{wj}: cantidad de precipitación en días húmedos para el año *j*.
- W: número total de días húmedos en el año *j*.
- w: día húmedo o día con precipitación (RR ≥ 1 mm).

A partir de la Ecuación 1 se pueden identificar dos componentes importantes de la intensidad de la precipitación: el monto pluviométrico y el número de días húmedos (también llamados días pluviométricos o días con precipitación). De acuerdo con Cuadrat y Pita (1997), dichos atributos pueden definirse en función de un evento de precipitación: el primero expresa la cantidad medida en base a la altura de agua recogida a nivel del suelo o cerca de él y se lo indica en milímetros (mm), y el segundo se refiere a un registro donde se computa el total de días durante un período concreto en que se produjeron lluvias que han superado los 0,1 mm.

4.2. Las técnicas de análisis

La evolución temporal de un fenómeno o elemento del clima puede estudiarse de diferentes maneras. Las series temporales constituyen una técnica estadística de análisis longitudinal o “estadística de movimiento” (Grisollet *et al.*, 1962, p.229) que permite identificar patrones y regularidades de cualquier objeto o indicador que varía con el tiempo.

La utilidad de las series temporales en Climatología radica en dos objetivos claramente definidos: el primero es la descripción del comportamiento promedio de un conjunto de datos climáticos a través de componentes tales como tendencia, estacionalidad, ciclos y eventos anómalos; mientras que el segundo se refiere a la predicción a futuro próximo del fenómeno de estudio en relación a sus regularidades y patrones observados.

En la investigación se utilizaron series temporales de intensidad de la precipitación anual para 12 estaciones meteorológicas, de las cuales fueron estimadas sus tendencias (movimientos lentos, regulares y persistentes a largo plazo de un conjunto de datos, que implican frecuentemente crecimiento o decrecimiento) y variaciones interanuales (diferencias o cambios a través de los años durante un período determinado de una secuencia de datos).

La estimación de la tendencia se realizó a través del método de regresión lineal simple, que consiste en un modelo matemático que relaciona variables fijas y aleatorias conocidas (x, y) con constantes desconocidas (a, b) a partir de ciertas operaciones algebraicas (suma, resta, multiplicación). La ecuación de regresión o ajuste lineal se expresa de la siguiente manera (Edbon, 1982):

$$y = ax + b$$

Ecuación 2. Ecuación de regresión lineal simple.

Donde:

- y : valor predicho de la variable dependiente (intensidad de la precipitación anual).
- x : valor de la variable independiente (tiempo expresado en años).
- a : pendiente de la recta.
- b : ordenada al origen.

A partir de la **Ecuación 2** se calculó la tendencia de la intensidad pluviométrica por estación meteorológica para el período completo (1970-2019). En cada caso se incluyó la ecuación correspondiente con su valor de bondad de ajuste (R^2) y que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Ecuación de la recta de regresión lineal y su bondad de ajuste por estación meteorológica del nordeste argentino (serie completa 1970-2019).

Estación meteorológica	Ecuación de regresión lineal	Bondad de ajuste (R^2)
Las Breñas INTA	$y=0,0554x+13,225$	0,0907
Pcia. Roque Sáenz Peña	$y=0,0145x+15,591$	0,0068
Las Lomitas	$y=0,0375x+14,225$	0,0442
Formosa Aero	$y=0,0095x+17,770$	0,0028
Resistencia Aero	$y=0,1008x+15,451$	0,2546
Colonia Benítez INTA	$y=0,0757x+15,871$	0,1535
Corrientes Aero	$y=0,0450x+17,669$	0,0540
Bella Vista INTA	$y=0,0984x+16,337$	0,1769
Monte Caseros	$y=0,0352x+17,821$	0,0366
Paso de los Libres Aero	$y=0,0105x+18,419$	0,0034
Posadas	$y=0,0716x+17,933$	0,1348
Puerto Iguazú	$y=0,0317x+18,253$	0,0314

Fuente: elaboración propia.

También, para un análisis específico del comportamiento de las series de intensidad pluviométrica, se estimó la tendencia por partes para subperíodos de diez años (1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2019), utilizándose nuevamente el método de regresión lineal simple.

La interpretación de la tendencia puede basarse en los valores asumidos por el parámetro (a) de la ecuación de ajuste lineal, ya que representa la pendiente de la recta y muestra cuánto disminuye o aumenta la variable dependiente (y) cuando la independiente (x) va incrementándose en una unidad discreta (por ejemplo, el tiempo medido en años). De esa forma, se distinguieron dos tipos de comportamientos tendenciales según el signo de la constante (a): las cifras positivas indican un crecimiento y las negativas un decrecimiento.

Por su parte, para examinar la variabilidad interanual de la intensidad de la precipitación se recurrió al cálculo de tasas de variación relativa, es decir, números índices que expresan una comparación por cociente entre un dato y otro del mismo tipo, pero de un período de referencia diferente. Las tasas de variación relativa que se emplearon fueron las siguientes:

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

Ecuación 3. Tasa de variación relativa del período completo 1970-2019 (en %).

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

Ecuación 4. Tasa de variación media acumulativa del período completo 1970-2019 (en %).

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

Ecuación 5. Tasa de variación relativa anual con base en el período anterior al i-ésimo año (en %).

Donde:

- r : tasa de variación relativa (en porcentaje).
- \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-1} : período anterior al i -ésimo año, valor anterior al dato que se quiere comparar.
- Y_{i+n} : valor del último año del período de estudio.
- n : número total de años del período de estudio.

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 promedio de las series, a diferencia de la variación relativa anual que se usó para identificar las fluctuaciones del indicador en un año respecto del período anterior. La interpretación de cada una de las tasas refiere a distintos aspectos de la variabilidad interanual que se mencionan a continuación:

- Por una parte, la tasa de variación del período completo muestra cuánto ha crecido o decrecido la variable desde el inicio hasta el final del período.
- Por otra parte, la tasa media acumulativa exhibe el valor promedio que ha tenido que disminuir o incrementarse la variable hasta llegar a la cifra del último período.
- Por último, la tasa de variación relativa anual indica cuánto ha descendido o aumentado la variable en un año respecto al período sucesivo anterior.

5. Resultados

5.1. Tendencia de la intensidad de la precipitación

La tendencia de la intensidad pluviométrica ha sido estudiada a través de representaciones gráficas y cartográficas, las cuales han permitido observar el comportamiento general de las series de tiempo para las distintas localidades del nordeste argentino y durante el período de análisis (1970-2019).

La Figura 2 muestra las series temporales de la intensidad de la precipitación anual para las estaciones meteorológicas trabajadas, donde se incorpora en cada caso la tendencia lineal del período completo (1970-2019) y la tendencia por partes o subperíodos de diez años.

En los gráficos se advierte claramente que la intensidad pluviométrica varía con el transcurso del tiempo. En cuanto al rango aproximado de valores registrados en cada serie, en general se destaca que están comprendidos entre 10 y 30 mm/día/año para las localidades estudiadas. Esto quiere decir que las intensidades de la precipitación anual han sido superiores a 10 mm/día e inferiores a 30 mm/día durante las últimas cinco décadas.

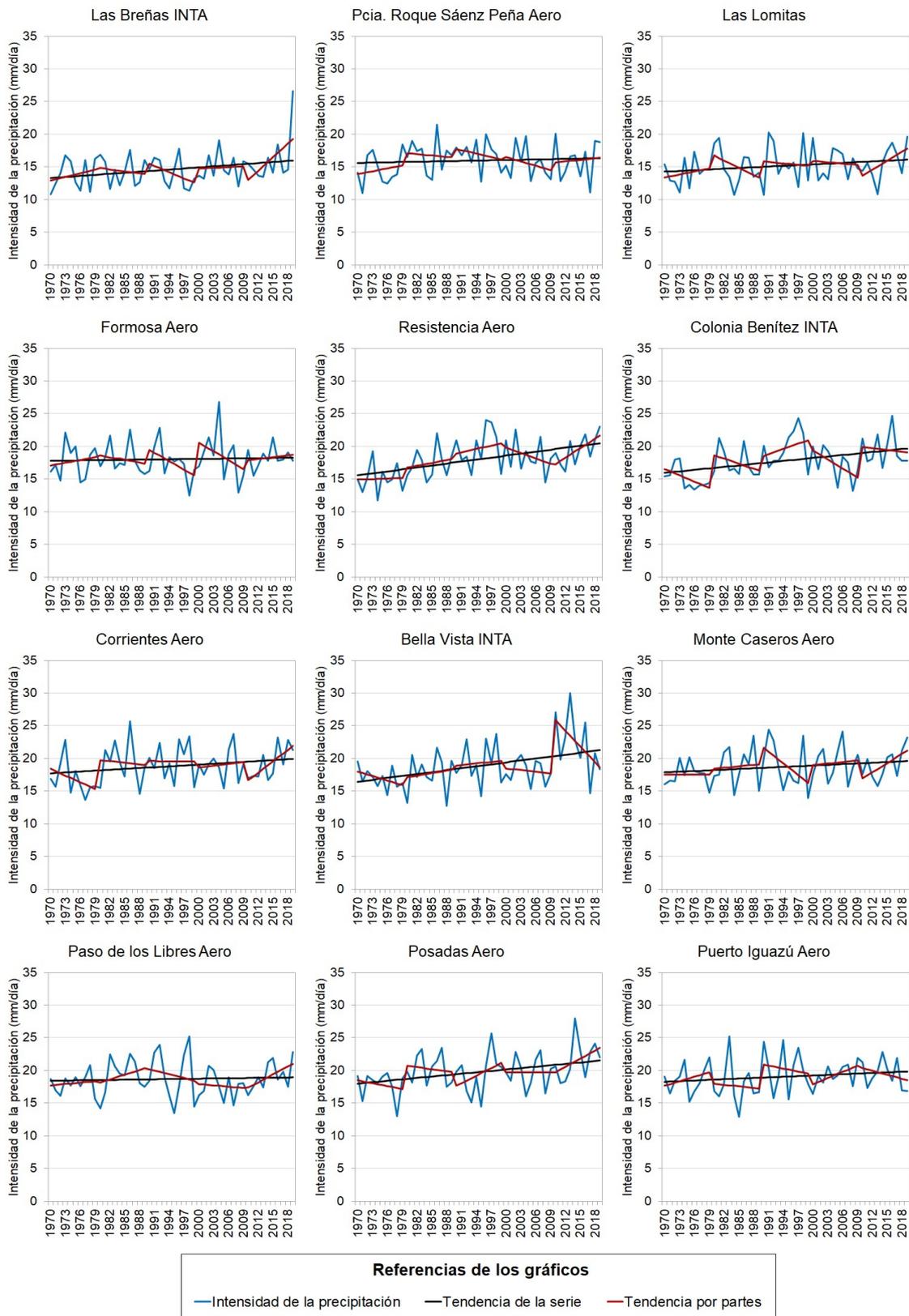
La totalidad de los casos ha tenido una tendencia positiva de la intensidad pluviométrica durante el período de análisis. En efecto, las precipitaciones han sido cada vez más intensas desde 1970 hasta la actualidad en diferentes lugares dentro del nordeste argentino.

Dado que todas las estaciones manifestaron un incremento promedio de la intensidad de la precipitación para el período completo (1970-2019), se distinguió que el ritmo en el que lo hicieron fue distinto según el caso: en Resistencia y Bella Vista la variable creció aproximadamente 0,1 mm/día/año, mientras que en las demás localidades fue menor a dicho valor (por ejemplo, Formosa y Paso de los Libes con 0,01 mm/día/año).

Al examinar las tendencias por subperíodos definidos cada diez años, en las series se detectaron ciertas décadas en las que la intensidad pluviométrica tuvo un decrecimiento promedio. Esto parece contradictorio a la tendencia positiva registrada por todas las estaciones meteorológicas entre 1970 y 2019,

pero la diferencia se encuentra en el lapso de tiempo que se ha considerado para estimar el comportamiento general de la variable (el período completo abarca 50 años, mientras que los subperíodos tan sólo son de 10 años). En resumen, si bien el movimiento general del conjunto de datos es mostrado por la tendencia del período completo, ésta puede presentar cambios o variaciones de acuerdo a subperíodos concretos.

Figura 2. Series temporales de intensidad de la precipitación para algunas localidades del nordeste argentino (período 1970–2019).



Fuente: elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).

La Figura 3 exhibe la distribución espacial de las estaciones meteorológicas discriminadas según el

tipo de tendencia (positiva o negativa), con su correspondiente valor de incremento o decremento, tanto para el período completo 1970-2019 (Figura 3.a) como para los subperíodos establecidos cada diez años (Figuras desde la 3.b hasta la 3.f).

Tal y como se menciona en párrafos anteriores, durante el período completo (1970-2019) sólo se registran tendencias positivas en las localidades analizadas, es decir que la intensidad de la precipitación en el nordeste argentino ha experimentado un incremento sostenido durante los últimos 50 años. En relación a ello, el ritmo o magnitud de crecimiento fue de diferentes maneras según el caso: Resistencia y Bella Vista tuvieron un aumento promedio aproximado de 0,1 mm/día/año, mientras que en otros lugares como Formosa y Paso de los Libres ha sido de 0,01 mm/día/año. De acuerdo con los subperíodos de diez años, la distribución espacial de los tipos de tendencia (positiva o negativa) cambia según el comportamiento particular de las estaciones meteorológicas.

En el período 1970-1979, la mayoría de las localidades registraron una tendencia creciente, destacándose Puerto Iguazú con el incremento más marcado respecto al de las otras estaciones (0,23 mm/día/año), a diferencia de una minoría de cuatro lugares donde se observó una disminución de la intensidad pluviométrica (aproximadamente entre 0,15 y 0,34 mm/día/año).

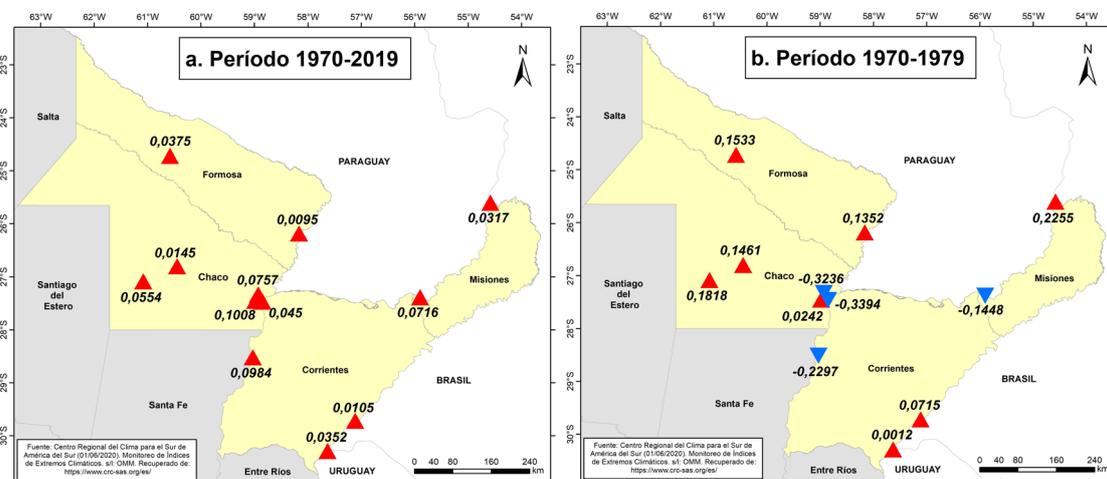
En la siguiente década (1980-1989) se detectó que algunas estaciones meteorológicas cambiaron su tipo de tendencia en relación al subperíodo anterior, mientras que otras han mantenido el mismo signo (como en los casos de Corrientes, Las Breñas, Resistencia, Posadas, Paso de los Libres y Monte Caseros). La intensidad de la precipitación decreció en la mayoría de las localidades, a un ritmo entre 0,07 y 0,26 mm/día/año.

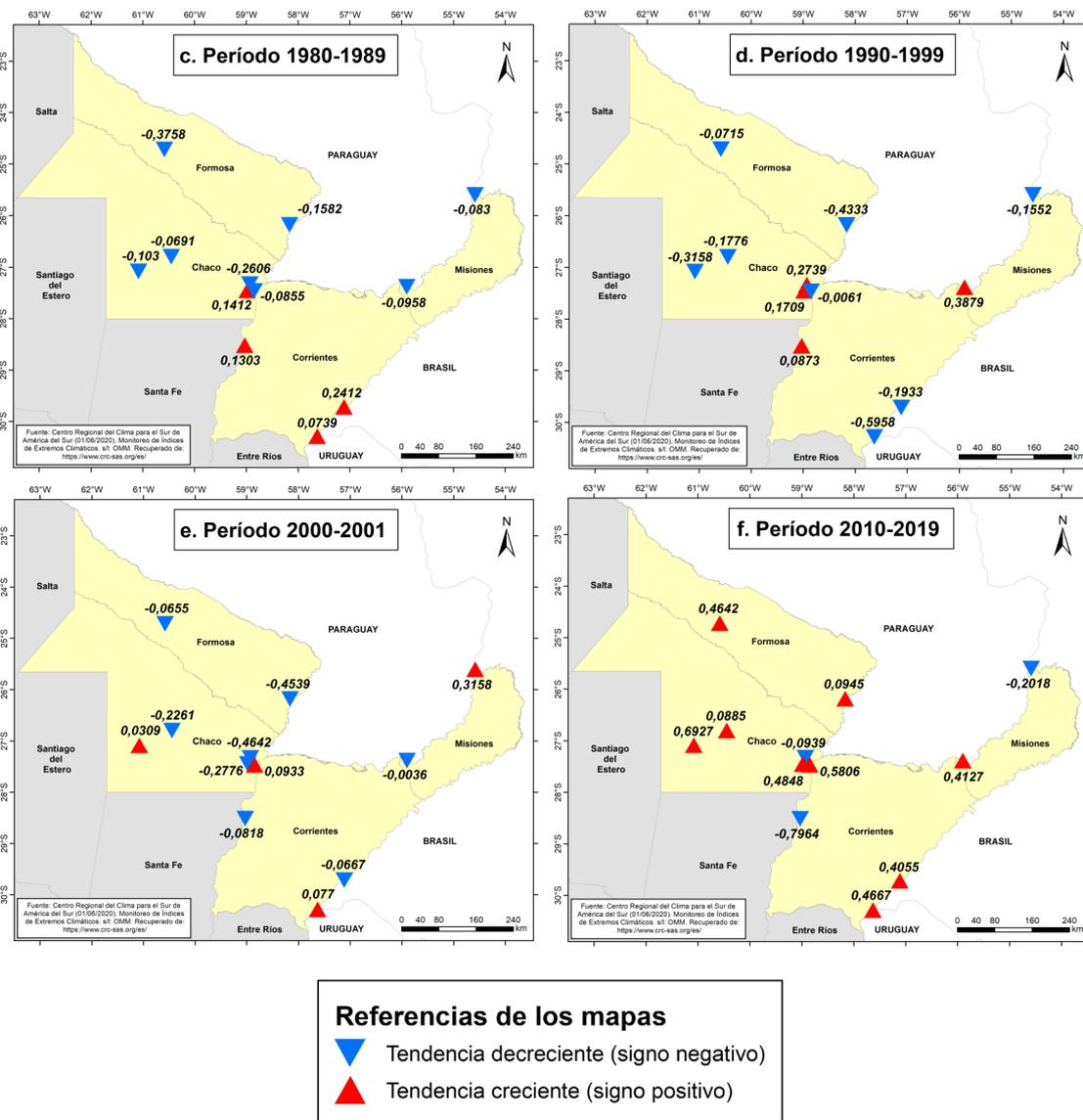
De igual manera que en el decenio anterior, entre 1990 y 1999 predominó una tendencia negativa, ya que la mayoría de las estaciones experimentaron un decrecimiento de la intensidad pluviométrica. En casos como Formosa y Monte Caseros se dieron las disminuciones más pronunciadas, con valores de 0,43 y 0,59 mm/día/año, respectivamente. Por su parte, Posadas y Colonia Benítez cambiaron su tipo de tendencia (de negativa a positiva) respecto del período anterior, aunque lo mismo ocurrió con Paso de los Libres y Monte Caseros, pero de forma inversa (de positivo a negativo).

Nuevamente, la intensidad pluviométrica disminuyó, en promedio, para distintas localidades durante la década 2000-2009, destacándose Formosa y Colonia Benítez con los decrecimientos más acentuados (0,45 y 0,46 mm/día/año, respectivamente). También, se observó que cuatro estaciones mantuvieron su tipo de tendencia en relación a la década anterior, mientras que las demás cambiaron de valores positivos a negativos (Resistencia, Colonia Benítez, Bella Vista y Posadas) o de manera opuesta (Las Breñas, Monte Caseros, Corrientes y Puerto Iguazú).

Por último, en el subperíodo 2010-2019 se registraron tendencias positivas en la mayoría de las estaciones meteorológicas, por lo que en el noroeste argentino se dio principalmente un incremento de las intensidades de la lluvia. En efecto, algunos lugares tuvieron un crecimiento acentuado de sus valores durante dicha década, como ha sucedido con Paso de los Libres (0,41 mm/día/año), Posadas (0,41 mm/día/año), Las Lomitas (0,46 mm/día/año), Resistencia (0,49 mm/día/año), Monte Caseros (0,47 mm/día/año), Corrientes (0,58 mm/día/año) y Las Breñas (0,69 mm/día/año).

Figura 3. Distribución espacial de los tipos de tendencia para el período completo (1970-2019) y para subperíodos de diez años.



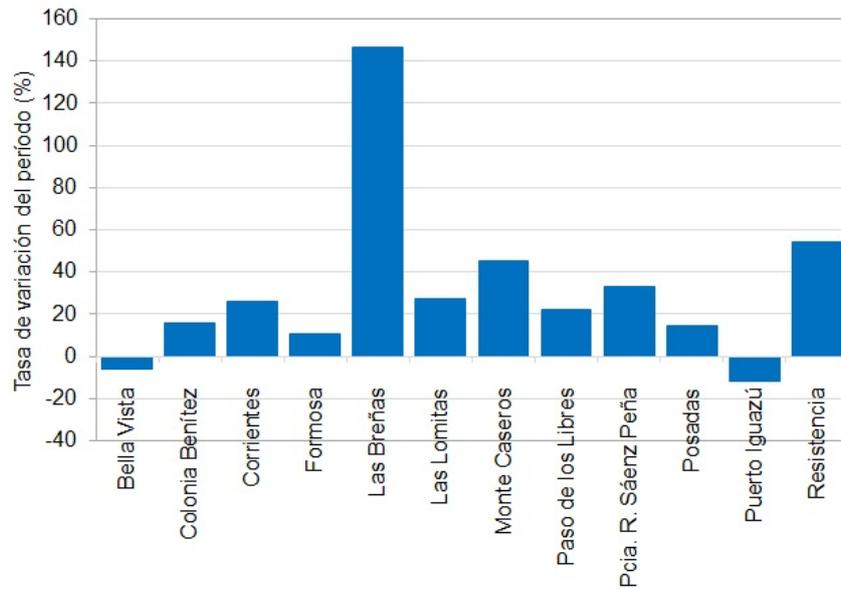


Fuente: elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).

5.2. Variabilidad interanual de la intensidad de la precipitación

Al examinar la variabilidad interanual de la intensidad pluviométrica se pueden observar los cambios o fluctuaciones de dicha variable entre años concretos del período de análisis (1970-2019). La Figura 4 muestra la variación relativa de la serie completa, donde se comparan los valores del primer y el último año que constituyen el período de estudio (1970 y 2019, respectivamente), para las estaciones meteorológicas trabajadas en la investigación.

Figura 4. Tasa de variación relativa del período completo 1970-2019 (en %) para algunas localidades del nordeste argentino.



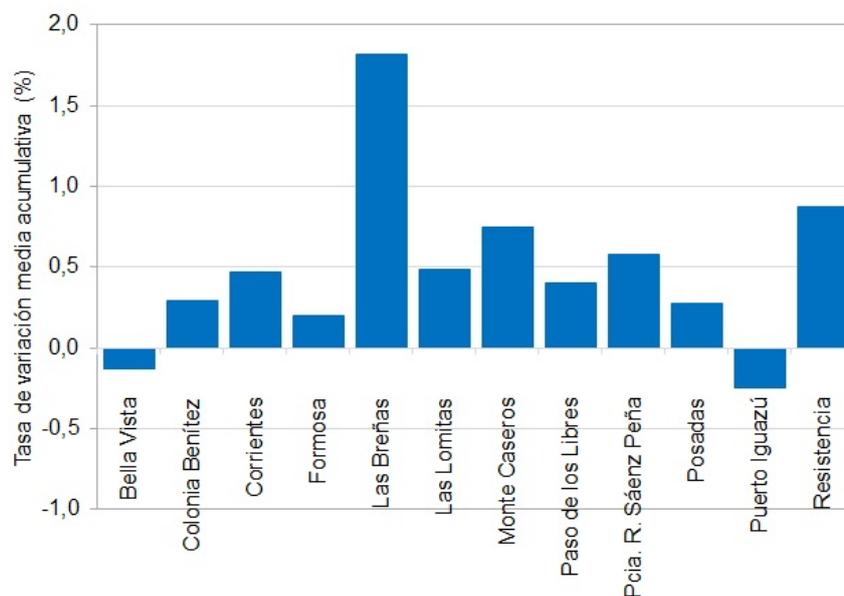
Fuente: elaboración propia con base en datos del CRC-SAS (2020).

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 muy pronunciado de la intensidad pluviométrica (poco más del 140% aproximadamente) a comparación de las demás localidades. Por su parte, Resistencia y Monte Caseros también se destacan dado que sus incrementos se han dado entre el 40% y 60%, mientras que en los restantes lugares fueron menores a dicho rango. Tan sólo dos estaciones, Bella Vista y Puerto Iguazú, han registrado una disminución poco acusada de sus intensidades pluviométricas de 6,2% y 11,6%, respectivamente.

A partir de las características expuestas se puede decir que, entre el primer y el último año del período de análisis, algunas localidades trabajadas han experimentado cambios o variaciones más notables que otras en la intensidad de la precipitación.

La Figura 5 presenta la variación media acumulativa del período completo, donde se determina el valor promedio que cada localidad ha tenido que incrementar o disminuir año tras año hasta alcanzar la cifra del último período (2019).

Figura 5. Tasa de variación media acumulativa del período completo 1970-2019 (en %) 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 los demás lugares tuvieron 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. Dado que los resultados de las tasas de variación relativa del período completo y la media acumulativa son diferentes, la [Tabla 3](#) indica la diferencia que existe entre ambas para cada estación meteorológica.

Tabla 3. Diferencias porcentuales entre las tasas de variación relativa del período completo y la media acumulativa para algunas localidades del nordeste argentino.

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

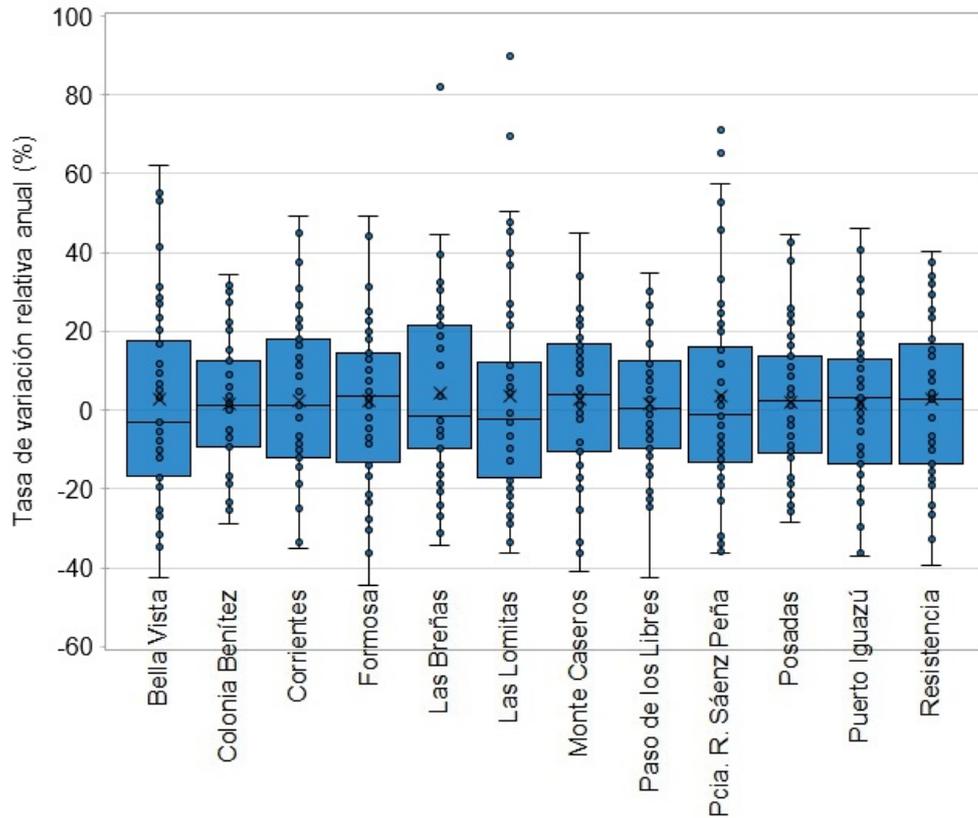
Fuente: elaboración propia.

A simple vista es posible detectar en la tabla anterior 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%.

Las tasas relativas del período completo y la media acumulativa presentan estas diferencias porque ellas muestran aspectos distintos de la variabilidad del fenómeno de estudio: 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 indica la cantidad que se ha incrementado o disminuido la variable año tras año en la serie temporal. En efecto, los cambios son más marcados cuanto mayor es la diferencia entre dichas tasas.

Dado que la media acumulativa corresponde a un promedio de la variabilidad interanual del indicador de estudio, 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. La [Figura 6](#) corresponde a un diagrama de caja y bigote o boxplot que sintetiza el comportamiento de la tasa de variación relativa anual (período 1971-2019) para cada estación meteorológica.

Figura 6. Boxplot de las tasas de variación relativa anual con base en el período sucesivo anterior al i-ésimo año (en %) para algunas localidades del nordeste argentino.



Fuente: elaboración propia con base en datos del [CRC-SAS \(2020\)](#).

A partir del boxplot se identifican ciertos aspectos de particular importancia, tal que resumen el comportamiento de las tasas de variación anual de la intensidad de la lluvia para las distintas estaciones meteorológicas del nordeste argentino.

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 (dos). Dado que tales eventos anómalos se hallan en localidades que se ubican hacia el sector occidental del área de estudio, es importante señalar que el efecto de continentalidad podría estar relacionado con dichas variaciones extremas de la intensidad pluviométrica.

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.

6. Conclusiones

La intensidad de la precipitación en el nordeste argentino experimentó un crecimiento sostenido durante los últimos 50 años, pero hubo decenios donde la variable tuvo una tendencia decreciente. Asimismo, en el espacio de estudio se dieron cambios en la variabilidad interanual del indicador, pero tales variaciones son más evidentes en algunos casos particulares.

Dado que la intensidad pluviométrica anual es considerada como un índice de extremo climático, al haber estudiado su comportamiento temporal a través de la tendencia y la variabilidad interanual en un

período que abarca la mitad de un siglo, los resultados de la investigación aportarían evidencias que darían cuenta de señales del cambio climático. Si bien la regresión lineal simple ha mostrado una tendencia creciente del indicador analizado y ello resulta insuficiente para hablar de un claro cambio en el clima, de acuerdo con los datos obtenidos se advirtió que la tendencia en realidad es variable si se discrimina por décadas o períodos concretos.

En general, tal y como lo expresan algunos autores, las precipitaciones van siendo cada vez más intensas en diferentes sectores del planeta. En este sentido, los resultados de la investigación han demostrado que el nordeste argentino se corresponde con uno de dichos espacios, ya que se observó que las intensidades pluviométricas se incrementaron, en promedio, durante los últimos 50 años para todas las localidades trabajadas.

Asimismo, entre los años que comprende el período de estudio se lograron detectar cambios que dieron cuenta de la variabilidad de la intensidad de las lluvias. Esto es importante destacar debido a que, en el contexto del cambio climático, se ha notado que las precipitaciones intensas han sufrido alteraciones en sus patrones y regularidades, de tal manera que la investigación ha contribuido en identificar dichas fluctuaciones para algunos sitios del área de estudio.

El conocimiento de la tendencia y variabilidad interanual de la intensidad pluviométrica permitiría desarrollar diferentes mecanismos de adaptación y mitigación ante los impactos que podrían producir eventos de precipitación intensa 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

- Albentosa Sánchez, L. (1976). La aplicación del método estadístico en Climatología. El régimen anual de precipitaciones en Barcelona (II). *Revista de geografía*, 10(1), 79-112. Recuperado de: <https://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/45706>
- Attogouinon, A., Lawin, A., N'Tcha M'Po, Y., & Houngue, R. (2017). Extreme precipitation indices trend assessment over the upper Oueme River Valley-(Benin). *Hydrology*, 4(36), 1-24. doi: [10.3390/hydrology4030036](https://doi.org/10.3390/hydrology4030036)
- Biasutti, M., & Yuter, S. (2013). Observed frequency and intensity of tropical precipitation from instantaneous estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(17), 9534-9551. doi: [10.1002/jgrd.50694](https://doi.org/10.1002/jgrd.50694)
- Bruniard, E. (1981). *El clima de las planicies del norte argentino* (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Nordeste: Resistencia.
- 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
- Cuadrat, J. & 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*, 118(5), 2098-2118. doi: [10.1002/jgrd.50150](https://doi.org/10.1002/jgrd.50150)
- Diaraku, K., Emori, S., & Oki, T. (2004). Rainfall amount, intensity, duration, and frequency relationships in the Mae Chaem Watershed in Southeast Asia. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), 458-470. doi: [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0458:RAIDAF>2.0.CO](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0458:RAIDAF>2.0.CO)
- Edbon, D. (1982). *Estadística para geógrafos*. Barcelona: Oikos-tau, Colección Ciencias Geográficas, 1º edición.
- Field, C., Barros, V., Stocker, T., Qin, D., Dokken, J., Ebi, K., Mastrandrea, M., Mach, K., Plattner, G., Allen, S., Tignor, M., & 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 de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/IPCC_SREX_ES_web-1.pdf
- Fischer, B. (1995). *Decomposition of time series comparing different methods in theory and practice*. Luxemburgo: Eurostat.
- Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, M., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19(3), 193-212.

- 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*, 111(D24), 1-15.
- García, I., Sardiñas, S., & González, D. (2017). Comportamiento de Indicadores de extremos climáticos en la Isla de la Juventud. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 217-225.
- Grisollet, H., Guilmet, B., & Arlery, R. (1962). *Climatologie. Méthodes et pratiques*. Paris: Gauthier-Villars & Cie Éditeur.
- 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, & 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* (pp. 159-254). Cambridge: IPCC.
- Hegerl, G., Zwiers, F., Stott, P., & Kharin, V. (2004). Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes. *Journal of Climate*, 17(19), 3683-3700. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<3683:DOACIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<3683:DOACIA>2.0.CO;2)
- Hong, Y., & Ying, S. (2018). Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices. *Advances in Climate Change Research*, 9(4), 218-226.
- 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*, 50(1), 24-39.
- Klein Tank, A., Zwiers, F., & Zhang, X. (2009). *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation* (WMO-TD N°1500, WCDMP-N°72). Recuperado del sitio de internet World Meteorological Organization: https://www.ecad.eu/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf
- Kusunoki, S., & Arakawa, O. (2012). Change in the precipitation intensity of the East Asian summer monsoon projected by CMIP3 models. *Climate dynamics*, 38(9-10), 2055-2072. doi: [10.1007/s00382-011-1234-7](https://doi.org/10.1007/s00382-011-1234-7)
- Lorente Castelló, J., Casas Castillo, M., Rodríguez Sola, R., & Redaño Xipell, A. (2013). Intensidades extremas y precipitación máxima probable. En C. Martínez & F. Rodríguez (eds.), *Fenómenos meteorológicos adversos en España* (pp. 142-155). Madrid: AMV Ediciones.
- Martín-Vide, J. (1991). *Fundamentos de la Climatología Analítica*. Madrid: Síntesis, Serie General N°5, Espacios y Sociedades.
- Méndez Tejada, R. (2018). Fenómenos climáticos extremos y sus efectos en el Caribe. *Revista AULA*, 61(2), 32-44. doi: [10.33413/aulahcs.2018.62i2.84](https://doi.org/10.33413/aulahcs.2018.62i2.84)
- Monjo, R., & Martín-Vide, J. (2016). Daily precipitation concentration around the world according to several indices. *International Journal of Climatology*, 36(11), 3828-3838.
- Moutahir, H., De Luis, M., Serrano-Notivoli, R., Touhami, I., & Bellot, J. (2014). Análisis de los eventos climáticos extremos en la Provincia de Alicante, Sureste de España. En S. Fernández-Montes & F. Rodrigo (eds.), *Cambio climático y cambio global* (pp. 457-466). Madrid: Asociación Española de Climatología (AEC).
- Nakayama, K., Beitia, C., Vallester, E., Pinzon, R., Fábrega, J., Nakaegawa, T., Kato, J. (2012). Increase in simple precipitation intensity index in Panama. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, 68(4), 163-168.
- Torres Alavez, J. A., Tejada, A., Vázquez Aguirre, J. L., Brunet, M., Hernández Ávila, P., & Ruiz Barradas, A. (2010). Índices de cambio climático y análisis de variabilidad en el estado de Veracruz, México. En F. Fernández García, E. Galán Gallego & R. Cañada Torrecilla (eds.), *Clima, ciudad y ecosistemas* (pp. 295-304). Madrid: Asociación Española de Climatología (AEC).
- Serrano Vincenti, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. *La Granja*, 16(2), 23-47.
- Secretaría de Infraestructura y Políticas Hídricas (01/06/2020). *Sistema Nacional de Información Hídrica*.

Buenos Aires: Mrio. de Obras Públicas de la Nación. Recuperado de: <https://snih.hidricosargentina.gob.ar/>

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*, 2(6), 851–870. doi: [10.1002/wcc.147](https://doi.org/10.1002/wcc.147)