

1 **VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DIARIA DE**
2 **PRECIPITACIÓN EN LA ARGENTINA**

3
4 **María Paula Llano**

6 **Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA.**

7 **CONICET**

8 **Autor correspondiente: María Paula Llano, mpllano@at.fcen.uba.ar**

9
10 Manuscrito recibido el 1 de julio de 2020, en su versión final el 30 de agosto de 2020

11
12 **RESUMEN**

13
14 En el presente estudio se analiza el comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones
15 mediante el índice de concentración diaria de precipitación con una resolución de 1, 5 y 10 milímetros
16 para 24 estaciones meteorológicas en el período 1961-2018. El índice de concentración calculado con
17 una resolución de 1 mm toma valores entre 0,58 y 0,67, sin un patrón definido de comportamiento
18 espacial. Con resolución de 5mm y 10mm, los valores del índice disminuyen y a nivel espacial se hace
19 notorio un gradiente norte – sur. En cuanto a la evolución de los valores de CI, la cantidad de estaciones
20 con tendencias significativas negativas es similar a las positivas, mientras que en magnitud, son
21 mayores en promedio las positivas. Este aumento en la concentración de la precipitación puede llegar a
22 ser un riesgo dependiendo de la evolución de la lluvia asociada.

23
24 **Palabras clave:** concentración, precipitación diaria, tendencia.
25
26

27 **TEMPORAL VARIABILITY OF DAILY CONCENTRATION OF**
28 **PRECIPITATION IN ARGENTINA**

29
30 **ABSTRACT**

31
32 In the present study, the spatial and temporal behaviour of daily rainfall is analyzed using the daily
33 rainfall concentration index with a resolution of 1, 5 and 10 millimetres for 24 meteorological stations

Artículo en edición

34 in the period 1961-2018. The index calculated with a resolution of 1 mm takes values between 0.58 and
 35 0.67, without a defined pattern of spatial behaviour. The CI (5 and 10 mm) decrease and a spatial north-
 36 south gradient become noticeable. Analyzing the trends, the number of stations with significant
 37 negative trends is similar to positive ones, however, in magnitude, positive ones are higher on average.
 38 This increase in the concentration of precipitation could become a risk depending on the evolution of
 39 the associated precipitation.

40

41 **Key Words:** concentration, daily precipitation, trend

42

43 1) INTRODUCCIÓN

44

45 La importancia de estudiar las precipitaciones diarias radica en los problemas hidrológicos causados por
 46 las altas intensidades y la distribución desigual de las lluvias diarias a lo largo del territorio argentino.
 47 La ocurrencia de estos días particularmente lluviosos puede determinar si un año va a ser catalogado
 48 como seco o lluvioso. Las lluvias torrenciales pueden ocasionar catástrofes naturales como son las
 49 inundaciones, la erosión del suelo o el anegamiento de calles en las ciudades.

50 La concentración de la precipitación puede calcularse mediante diferentes métodos. Uno de ellos se
 51 centra en la relación entre la acumulación de la variable y su frecuencia acumulativa. Esta función se
 52 conoce como curva de concentración o curva de Lorenz, y el área bajo esa curva es la base para el
 53 cálculo del índice de concentración de precipitación diaria CI (Martín-Vide, 2004). Este índice ha sido
 54 empleado en varias regiones del mundo: el CI fue calculado en varias regiones de Italia con diferentes
 55 enfoques y resultados (Coscarelli y Caloiero, 2012; Caloiero et al., 2019). En Nueva Zelanda dada la
 56 naturaleza de la isla los valores de CI presentan un amplio rango de variación (Caloiero, 2014).
 57 Analizando el comportamiento con el tiempo, en España la mayor parte del territorio presenta tendencia
 58 positiva en el CI en un amplio registro temporal (Serrano Notivoli et al., 2018), mientras que en el norte
 59 de China se observaron tendencias negativas en los últimos 50 años (Wang et al., 2019).

60 En el continente americano se puede mencionar el estudio hecho en Puerto Rico, donde se observa una
 61 gran variabilidad del CI dada la diferente topografía del país (Velez et al., 2019). En México, Núñez-
 62 González (2020) calcula el CI y realiza una comparación con otros países del mundo. En el noreste de
 63 Brasil el CI fue analizado por Fernandes Teixeira et al. (2014). En la zona centro-sur de Chile se
 64 analizan las tendencias del CI, encontrando resultados diferentes en el centro y en el sur (Sarricolea et
 65 al., 2019). Un estudio similar realizan Menseguer Ruiz et al. (2019) estudiando el comportamiento
 66 temporal del índice en la región norte de Chile. En los Andes de Perú el estudio de las tendencias de CI
 67 mostró que las mismas son variadas debido a la geografía de la región (Zubieta et al., 2017).

Artículo en edición

68 En Argentina, Llano (2018) calculó el índice de concentración de precipitación diaria para 66 estaciones
69 en el período 1991-2014 y realizó una comparación con otras regiones del mundo. En el presente trabajo
70 se extiende el período de estudio de la concentración de la precipitación y se analiza la misma en base a
71 su variabilidad espacial y temporal, como así también su relación con diferentes factores geográficos y
72 climáticos.

73

74 2) DATOS Y METODOLOGIAS

75

76 Para la realización de la presente investigación se emplearon datos diarios de 24 estaciones
77 meteorológicas para el período 1961-2018, las mismas fueron suministradas por el Servicio
78 Meteorológico Nacional (SMN). El período de 58 años permite obtener resultados confiables de las
79 metodologías aplicadas. En la Tabla I se detalla su ubicación geográfica, la altura (m) y la precipitación
80 acumulada anual media (mm), la cantidad promedio de días con precipitación al año y el coeficiente de
81 variación (CV) que mide la relación entre el desvío estándar y el valor medio de la precipitación
82 acumulada anual.

83 Es sabido que existen muchos días con precipitación escasa (inferior a 1 mm) y pocos días con
84 precipitaciones altas, por tal motivo la distribución de frecuencias de las precipitaciones diarias es
85 posible ajustarla mediante una curva exponencial negativa (Brooks y Carruthers, 1953). El índice de
86 concentración diaria de precipitación (CI) (Martin-Vide, 2004) es una herramienta que permite
87 determinar la contribución relativa de los días de lluvia frente a la cantidad total de lluvia.

88 Para comenzar con el cálculo del CI es necesario clasificar a las precipitaciones diarias en intervalos de
89 1 mm, comenzando por (0-1], seguido por (1-2], (2-3], etc. en orden creciente hasta alcanzar el máximo
90 de los acumulados diarios que se produjo en el período de análisis. En la Tabla II se muestra a modo de
91 ejemplo el cálculo realizado para la estación Ezeiza. En la primera columna están los intervalos
92 mencionados y en la segunda se encuentra el valor medio de cada uno de ellos. En la tercera columna se
93 consignan las frecuencias absolutas de cada intervalo (n_i). En la cuarta columna se presenta la
94 frecuencia absoluta acumulada Σn_i (el último valor corresponde a la cantidad total de días con
95 precipitación). En Ezeiza en los 58 años de registro hubo 5249 días con precipitación. En la quinta
96 columna se encuentran los valores de P_i , que corresponden a la multiplicación entre la marca de clase
97 (2° columna) y la frecuencia (3° columna). En la sexta columna se hallan los valores acumulados de la
98 columna anterior ΣP_i . Finalmente en la séptima y octava columna están los porcentajes de los valores de
99 las columnas cuarta y sexta con respecto a los últimos valores de las mismas: Σn_i (%) y ΣP_i (%). La
100 representación gráfica de estas dos últimas columnas da lugar a la curva marcadamente exponencial que
101 se denomina curva de concentración o curva de Lorenz.

Artículo en edición

102 A su vez, se calcula el mismo índice pero con intervalos de 5 mm y 10 mm (Benhamrouche y Martin-
103 Vide, 2018), lo que permite trabajar con estaciones en donde el rigor de los registros es menor (no
104 fueron precisas las mediciones o no se registraron diariamente).

105 El índice de concentración cuantifica el área entre la curva exponencial y la recta de equidistribución.
106 La curva exponencial tiene la forma de $Y = a X \exp (bX)$, y las constantes a y b se obtienen por el
107 método de cuadrados mínimos a partir de $X_i = \Sigma n_i$ (%) e $Y_i = \Sigma P_i$ (%):

108

$$\ln a = \frac{\sum X_i^2 \sum \ln Y_i + \sum X_i \sum X_i \ln X_i - \sum X_i^2 \sum \ln X_i - \sum X_i \sum X_i \ln Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

109

110

(1)

$$b = \frac{N \sum X_i \ln Y_i + \sum X_i \sum \ln X_i - N \sum X_i \ln X_i - \sum X_i \sum \ln Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

111

112

(2)

113 Con ambas constantes se puede calcular el área bajo la curva exponencial, mediante la siguiente integral
114 entre 0 y 100.

115

$$A = \left[\frac{a}{b} e^{bx} \left(x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100}$$

116

117

(3)

118 El área S' que está comprendida entre la curva y la línea de distribución equitativa y X=100 es la
119 diferencia entre 5000 y el valor de la ecuación anterior. Por lo tanto el índice de concentración de
120 precipitación diaria se define como:

121

122

$$CI = S' / 5000$$

(4)

123 En la Figura 1, se observa la curva de concentración para la estación Ezeiza para los tres cálculos CI
124 1mm, CI 5mm y CI 10 mm. Ezeiza tiene un valor de CI igual a 0,63, 0,58 y 0,54 respectivamente, lo
125 que muestra las diferencias al tomar los tres intervalos. Este tipo de gráfica permite ver la relación entre
126 el porcentaje de días con precipitación versus el porcentaje de precipitación. Dado que el CI brinda una
127 medida del área, un índice elevado indica que la distribución de la precipitación diaria no se comporta
128 de manera regular (alejado de la recta de equidistribución).

129 En el presente trabajo se estudia la relación lineal entre los índices concentración y diferentes
130 parámetros geográficos de las estaciones (longitud, latitud, altitud), como así también con parámetros
131 medios de la precipitación (precipitación acumulada anual media, cantidad de días con precipitación al

Artículo en edición

132 año media, coeficiente de variación).
 133 Para finalizar se estudia la tendencia y su significancia por medio del test no paramétrico de Mann
 134 Kendall (Mann 1945, Kendall 1962) y la estimación no paramétrica de Sen (1968) se empleará para
 135 conocer la pendiente (siendo la pendiente el valor de la mediana entre todas las pendientes dadas entre
 136 pares de datos consecutivos), utilizando el paquete estadístico “trend” para R (Pohlert, 2018).

137

138 3) RESULTADOS

139 3.1 Concentración diaria de la precipitación

140 En la Tabla III se presentan los valores de CI para las tres clases de 1mm, 5mm y 10 mm (CI1 – CI5 –
 141 CI10) en conjunto con el porcentaje de la precipitación aportada por el 25% ($P_{i25\%}$) y 10% ($P_{i10\%}$) de
 142 los días más lluviosos en las estaciones de referencia para el período completo 1961-2018.

143 Los valores de CI1 se encuentran entre 0,58 y 0,67. El máximo se produce en dos localidades Las
 144 Lomitas y Ceres, donde el 25 % de los días más lluviosos están aportando 77,9% y 78,5% de la
 145 precipitación total, respectivamente. Si se analiza el 10% de los días más lluviosos en estas estaciones
 146 se estaría aportando un 46,3% y 46,9% de la precipitación; esto estaría indicando que en las localidades
 147 con un CI cercano a 0,67 aproximadamente 50% de la precipitación se concentra en el 10 % de los días
 148 considerados más lluviosos y el otro 50 % de la precipitación se reparte en el 90% de los días restantes.

149 En el otro extremo, las localidades con menor índice de concentración son Esquel (0,58), Iguazú (0,59),
 150 Río Gallegos (0,60) y Paso de los Libres (0,60), con estos valores de CI el 25% de los días más
 151 lluviosos representan un menor porcentaje de la precipitación total entre un 70 y 72%. El 10 % de los
 152 días más lluviosos representan aproximadamente un 40% de la precipitación total.

153 En promedio en la Argentina el valor de CI en la categoría de 1mm es de 0,63. Lo que estaría indicando
 154 que el 25 % de los días más lluviosos aportan un 74% de la precipitación total y el 10 % más lluvioso
 155 aporta un 42 %.

156 El CI puede tomar valores entre 0 y 1. En la categoría de 1mm los valores clasificarse en 5 categorías:
 157 muy baja concentración (0-0,2), baja concentración (0,2-0,4), concentración moderada (0,4-0,6), alta
 158 concentración (0,6-0,8) y muy alta concentración (0,8-1) (Núñez-González, 2020). La alta
 159 concentración de precipitación está vinculada a los procesos físicos rápidos, como la convección.
 160 Mientras que, la baja concentración de lluvia puede interpretarse como consecuencia de patrones
 161 regulares, como el paso sucesivo de sistemas de bajas presiones o tormentas (Monjo y Martín-Vide,
 162 2016).

163 Al tomar un intervalo de clase de 5 milímetros, los valores de CI cubren un rango: 0,50 – 0,63.
 164 Nuevamente las dos estaciones con valores más altos de CI son Ceres y Las Lomitas, analizando el 25%
 165 de los días más lluviosos los resultados de las curvas teóricas muestran que los mismos aportan un 72,9

Artículo en edición

166 y 73,7 % de la precipitación total respectivamente, y el 10% de los días más lluviosos aporta un 42 %.
 167 Las localidades con valores más bajos presentan un comportamiento diferente al visto para CI 1, Río
 168 Gallegos se aparta del resto con un valor de 0,50, y es seguida por Esquel con 0,54 y con 0,56 se
 169 encuentra a Iguazú y Villa Reynolds. El 25% de los días más lluviosos en Río Gallegos aportan un 59%
 170 de la precipitación y al restringir a un 10% el aporte se reduce a un 30%. En las otras localidades
 171 mencionadas estos valores aumentan.

172 Cuando el intervalo asciende a 10 milímetros el rango de variación del índice es de 13 centésimas al
 173 igual que el caso anterior, pero los valores abarcan desde 0,46 a 0,59. Las estaciones de Ceres y Las
 174 Lomitas vuelven a presentar el valor máximo (0,59), con este CI el 25% de los días más lluviosos están
 175 aportando alrededor de un 69% de la precipitación, mientras que un 38% de la precipitación se
 176 concentra en el 10% de los días más lluviosos. En el extremo opuesto del índice se encuentran la
 177 estación más austral, Río Gallegos con un CI de 0,46, concentra un 27% de la precipitación en el 10%
 178 de los días más lluviosos y un 55% de la lluvia en el 25% de los días más lluviosos.

179 En la Figura 2 se muestra la distribución espacial de los índices calculados con intervalo de 1mm, 5mm
 180 y 10mm. En el primer caso la distribución es aleatoria con diferentes centros de valores mayores o
 181 menores distribuidos a lo largo del todo el país, similar a lo previamente hallado por Llano (2018) con
 182 un mayor número de estaciones pero en menor período de tiempo. Los índices CI5 y CI10 muestran en
 183 mayor detalle el gradiente norte – sur que existe en el país. El sur del país exhibe los menores valores de
 184 CI dado el régimen de lluvias caracterizado por ser regular, mientras que el norte del país se caracteriza
 185 por tener un alto porcentaje de la precipitación concentrado en pocos días generalmente asociados a
 186 sistemas convectivos de mesoescala (Nesbitt et al., 2016). A medida que aumenta el intervalo de
 187 categorización de las precipitaciones, el índice es cada vez más homogéneo a nivel regional, se pierden
 188 las particularidades que una estación puede presentar en las lluvias diarias por lo tanto es más similar el
 189 valor del CI con estaciones cercanas. Es en la Patagonia donde más importante es el gradiente, Río
 190 Gallegos tiene un valor menor en casi 10 centésimas al hallado para Neuquén o Bahía Blanca.

191 A nivel país, el valor medio de los índices es: CI 1 = 0,63; CI 5 = 0,58 y CI 10 = 0,54. Se observa la
 192 relación inversa entre el valor del índice y la longitud de la clase. Al pasar de una longitud de 1mm a
 193 5mm, el valor del CI disminuye un 8 % (5 centésimas); a su vez, el rango de valores (diferencia entre
 194 máximo y mínimo) que toma el CI aumenta (de 0,09 a 0,14). Entre los CI de 5mm y 10 mm, solo se
 195 observa una disminución del mismo en un 7% promedio país.

196

197 **3.2 Relaciones entre el CI y diferentes variables**

198 Con el objetivo de evaluar la correlación espacial entre el CI y diferentes parámetros, en esta Tabla IV
 199 se presentan los valores del coeficiente de correlación de Pearson entre el CI, calculado con los 3

Artículo en edición

200 intervalos y diferentes variables climáticas: precipitación anual acumulada media, cantidad de días con
 201 precipitación al año media, coeficiente de variación anual y tres variables geográficas: longitud, latitud
 202 y altitud de la estación. Estos valores están expresados en la Tabla I.

203 Las variables climáticas son las que presentan una menor relación con el CI, solo entre la precipitación
 204 acumulada y el CI 10 la relación es positiva y significativa. Entre las variables geográficas la latitud
 205 para los 3 CI muestra una relación positiva y significativa, hay que recordar que la latitud está
 206 expresada en valores negativos por lo que este resultado está indicando que a medida que nos
 207 desplazamos hacia el sur el CI disminuye. Este resultado está de acuerdo a lo visto en el apartado
 208 anterior. Con la longitud solo los índices CI 5 y CI 10 (cuya distribución es menos aleatoria) presentan
 209 correlación significativa y positiva, en esta oportunidad la relación está indicando que en el oeste del
 210 país los valores del índice son menores. Con la altitud no se encontró ningún tipo de relación
 211 significativa.

212

213 **3.3 Valores anuales del índice de concentración de precipitación**

214 Los valores de los índices fueron calculados en escala anual para cada uno de los 58 años. Con estas
 215 series se analiza la existencia de una tendencia por medio del test no paramétrico de Mann Kendall
 216 (MK) y la pendiente se la calcula por medio de la estimación Sen.

217 Para el CI 1, desde el punto de vista de la distribución espacial de las tendencias, en la Figura 3 se
 218 puede observar como el centro – sur del país está dominado por valores positivos, lo que indica que con
 219 los años las lluvias están cada vez más concentradas, con la excepción de Neuquén y Bahía Blanca. En
 220 el sur del litoral y el norte de la provincia de Buenos Aires, las concentraciones son cada vez menores.
 221 En el noreste el comportamiento es diverso, no hay un claro patrón. Mientras que el noroeste las
 222 concentraciones están disminuyendo con el tiempo.

223 Como se pudo observar en la figura anterior, el test MK arrojó que ocho estaciones presentan una
 224 tendencia significativa, de las cuales la mitad son positivas y la mitad negativas. Para mayor detalle en
 225 la Figura 4 se presentan los valores de CI 1 anuales para estas ocho estaciones. Entre las tendencias
 226 negativas Las Lomitas se destaca por su pendiente presentando una disminución de CI de -0,0012 por
 227 año. Las otras 3 estaciones: Posadas, Rosario y Junín, tienen una disminución similar entre -0,0004 y -
 228 0,0006 por año. En el caso de las pendientes positivas, Corrientes, Mendoza, Esquel y Río Gallegos,
 229 presentan aumentos entre 0,0008 y 0,001 al año. Todas estas pendientes significativas son de menor
 230 magnitud a las vistas por Wang et al. (2019) en China, pero similares a varias de las estaciones de
 231 Cerdeña (Italia) estudiadas por Caloiero et al. (2019).

232 A nivel anual se puede observar el comportamiento disperso de este índice con el tiempo, presentando
 233 una gran variabilidad año a año, con diferencias promedios entre años consecutivos de entre un 5 y un

Artículo en edición

234 9% del valor del CI medio. Esta variabilidad interanual presenta valores máximos entre un 15 y un 20
 235 % del valor del CI, el caso más extremo con una diferencia entre años consecutivos de un 28% del valor
 236 del CI sucede en Mendoza entre los años 1996 y 1997. Tres estaciones con tendencia positiva tienen el
 237 mayor rango de valores, Mendoza presenta el mínimo de 0,48 en 1969 y el máximo en 0,75 en 1979, en
 238 Río Gallegos 0,48 en 1980 y 0,71 en 2018, finalmente en Esquel los extremos se producen en 1985
 239 (0,49) y 2015 (0,69).

240 Analizando el comportamiento de las tendencias se pueden mencionar algunos casos singulares como
 241 por ejemplo, Las Lomitas que en base a los bajos valores del CI de los últimos 10 años, la tendencia es
 242 significativa y negativa. En el otro extremo del país, Río Gallegos tiene una clara pendiente positiva con
 243 el paso del tiempo, la cual también se ve forzada por el valor de 0,71 del último año del registro, pero si
 244 se cambia el período de análisis (comenzando en la década del 80) la misma puede ser mucho mayor.

245 Cuando se analiza la tendencia del índice CI 5, solo tres estaciones Las Lomitas, Corrientes y Río
 246 Gallegos exhiben disminución (la primera) y aumentos significativos (las 2 restantes). El índice CI 10
 247 no presenta cambios significativos con el tiempo. Este comportamiento puede deberse, como ya se
 248 mencionó anteriormente, a que con intervalos de clase más grandes los eventos aislados de alta
 249 concentración de precipitación se ven mitigados y los años con CI extremos que podrían producir una
 250 tendencia significativa están suavizados.

251 Por último, se estudian las tendencias de la precipitación anual acumulada mediante el test de MK. La
 252 mayoría de las estaciones exhibe un aumento de la precipitación, siendo significativas las tendencias en
 253 Las Lomitas, Iguazú, Posadas, Sauce Viejo, Paraná, Mendoza. Gualaguaychú, Junín y Río Gallegos.
 254 Solo dos estaciones presentaron una disminución no significativa en la cantidad de precipitación anual:
 255 Bahía Blanca y Esquel.

256 Al analizar el comportamiento conjunto en las estaciones donde las tendencias de CI 1 y de la
 257 precipitación acumulada son significativas, se hallan 2 tipos de comportamiento: aumento del CI en
 258 conjunto con un aumento de la precipitación y disminución del CI y aumento de la precipitación.

259 En el primer conjunto se encuentran Mendoza y Río Gallegos, el aumento registrado en CI significa que
 260 la precipitación está cada vez más concentrada (los días más lluviosos acumulan grandes cantidades de
 261 precipitación) y si a esto se le suma que la cantidad de precipitación también está aumentando, da por
 262 resultado que estos eventos de precipitación están concentrados y con abundante lluvia.

263 Mientras que el otro comportamiento se observa en Las Lomitas, Posadas y Junín, en ellas el CI
 264 disminuye y la precipitación aumenta. Esto estaría indicando que hay más precipitación y la misma es
 265 más dispersa, es decir que hay más días con más lluvia.

266

267 **4) CONCLUSIONES**

Artículo en edición

268 El índice de concentración permite analizar a la precipitación diaria teniendo en cuenta las
269 irregularidades que la misma presenta. Este índice evalúa a las precipitaciones con tal precisión que
270 permite llevar a cabo un análisis estadístico de la misma que ayuda a comprender los eventos de
271 torrencialidad y, en consecuencia, evaluar los riesgos de inundación.

272 El índice ha sido calculado en un amplio período temporal lo cual aporta confiabilidad a las
273 metodologías aplicadas y a los resultados hallados. Los 58 años de información diaria en 24 estaciones
274 repartidas en el territorio argentino permite conocer una faceta de la precipitación diaria que ha sido
275 poco estudiada.

276 El índice calculado con un intervalo de clase (1 mm) toma valores entre 0,58 y 0,67, sin un patrón
277 definido de comportamiento exhibiendo varios centros cerrados en el centro-norte del país. Estos
278 valores del índice permiten clasificar a las estaciones en una categoría de concentración de la
279 precipitación moderada a alta, según la bibliografía existente. Al aumentar los intervalos (CI 5mm y CI
280 10mm), los valores del índice disminuyen y a nivel espacial se hace notorio un gradiente norte – sur, en
281 donde la estación Río Gallegos alcanza el menor valor y Las Lomitas y Ceres presentan en máximo
282 valor a nivel país.

283 Con los resultados de la tendencia en el índice CI 1 se puede concluir en términos generales que ha
284 existido un cambio significativo en la concentración de la precipitación diaria en Argentina en los
285 últimos 60 años. Presentando variaciones de hasta 0,001 por año en el índice de concentración CI 1mm,
286 tanto positivas como negativas.

287 Las estaciones que exhiben un aumento del CI en conjunto con un aumento de la precipitación
288 acumulada requieren mayores estudios, dado el tipo de riesgo que implica tener la precipitación
289 concentrada en eventos de mucha lluvia.

290

291

292 **AGRADECIMIENTOS:** Se agradece la asistencia técnica de P. Leal, al Banco de Datos del DCAO, al
293 Servicio Meteorológico Nacional y a los revisores por sus interesantes y valiosos comentarios.

294

295

296 REFERENCIAS

297

298 **Benhamrouche, A. and Martin-Vide, J., 2018:** Análisis espacial de los valores de los índices de Gini
299 y de concentración con intervalos de clase 1, 5 y 10 mm en el litoral de la cuenca del Mediterráneo oc-
300 cidental (1951-2010). *Geo-Eco-Trop*, 42, 1: 187-198.

Artículo en edición

- 301 **Brooks, C. and Carruthers, N., 1953:** Handbook of Statistical Methods in Meteorology. Quarterly
 302 Journal of the Royal Meteorological Society. London: Meteorological Office.
- 303 **Caloiero, T., 2014:** Analysis of daily rainfall concentration in New Zealand. Natural Hazards 72:389-
 304 404.
- 305 **Caloiero, T., Coscarelli, R. and Gaudio, R., 2019:** Spatial and temporal variability of daily
 306 precipitation concentration in the Sardinia region (Italy). International Journal of Climatology 39: 5006-
 307 5021.
- 308 **Coscarelli, R. and Caloiero, T., 2012:** Analysis of daily and monthly rainfall concentration in southern
 309 Italy (Calabria region). Journal of Hydrology 416–417: 145–156.
- 310 **Fernandes Teixeira, N., Teixeira Nery, J. and Martin-Vide, J., 2014:** Análisis de la concentración
 311 temporal de la precipitación diaria en el semiárido brasileño. Cambio climático y cambio global.
 312 Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Almería, España pp: 145– 152. ISBN: 978-
 313 84-16027-69-9.
- 314 **Kendall, M., 1962:** Rank correlation methods, 3rd edn. Hafner Publishing Company, New York.
- 315 **Llano, M., 2018:** Spatial distribution of the daily rainfall concentration index in Argentina: comparison
 316 with other countries. Theoretical and Applied Climatology 133, 997–1007.
- 317 **Mann, H., 1945:** Nonparametric tests against trend *Econometrica*. *J. Econometric Soc.* 13: 245-259.
- 318 **Martin-Vide, J., 2004:** Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular
 319 Spain. *International Journal of Climatology* 24:959–971.
- 320 **Meseguer-Ruiz, O., Ponce-Philimon, P., Guijarro, J. and Sarricolea, P., 2019:** Spatial distribution
 321 and trends of different precipitation variability indices based on daily data in Northern Chile between
 322 1966 and 2015. *International Journal of Climatology* 39: 4595-4610.
- 323 **Monjo, R. and Martin-Vide, J., 2016:** Daily precipitation concentration around the world according to
 324 several indices. *International Journal of Climatology* 36: 3828-3838.
- 325 **Nesbitt, S. Cifelli, R. and Rutledge, S., 2016:** Storm morphology and rainfall characteristics of
 326 TRMM precipitation features. *Monthly Weather Review* 134: 2702-2721.
- 327 **Núñez-González, G., 2020:** Comparison of the behavior of the precipitation concentration index on
 328 global and local scale. *Theoretical and Applied Climatology*. [https://doi.org/10.1007/s00704-019-](https://doi.org/10.1007/s00704-019-02996-5)
 329 02996-5.
- 330 **Pohlert, T., 2018:** Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. [https://cran.r-project.org/](https://cran.r-project.org/web/packages/trend/trend.pdf)
 331 [web/packages/trend/trend.pdf](https://cran.r-project.org/web/packages/trend/trend.pdf)
- 332 **Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., Serrano-Notivoli, R., Soto, M. and Martin-Vide, J., 2019:**
 333 Trends of daily precipitation concentration in Central-Southern Chile. *Atmospheric Research* 215: 85-
 334 98.

Artículo en edición

335 **Sen, P., 1968:** Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. J. Am. Stat. Assoc. 63
336 (324), 1379–1389.

337 **Serrano-Notivoli, R., Martín-Vid, J., Saz, M., Longares, L., Beguería, S., Sarricolea, P.,**
338 **Meseguer-Ruiz, O. and de Luis, M., 2018:** Spatio-temporal variability of daily precipitation
339 concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. International Journal of Climatology
340 38: 518-530.

341 **Vélez, A., Martín-Vide, J., Royé, D. and Santaella, O., 2019:** Spatial analysis of daily precipitation
342 concentration in Puerto Rico. Theoretical and Applied Climatology 136: 1347-1355.

343 **Wang, R., Zhang, J., Guo, E., Zhao, C. and Cao, T., 2019:** Spatial and temporal variations of
344 precipitation concentration and their relationships with large-scale atmospheric circulations across
345 Northeast China. Atmospheric Research 222: 62-73.

346 **Zubieta, R., Saavedra, M., Silva, Y. and Giráldez, L., 2017:** Spatial analysis and temporal trends of
347 daily precipitation concentration in the Mantaro River basin: central Andes of Peru. Stoch. Environ.
348 Res. Risk Assess. 31:1305–1318.

349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368

369 Figuras y tablas

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384 Figura 1: Curvas de concentración o curvas de Lorenz para la estación Ezeiza para las tres categorías de
 385 CI.

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

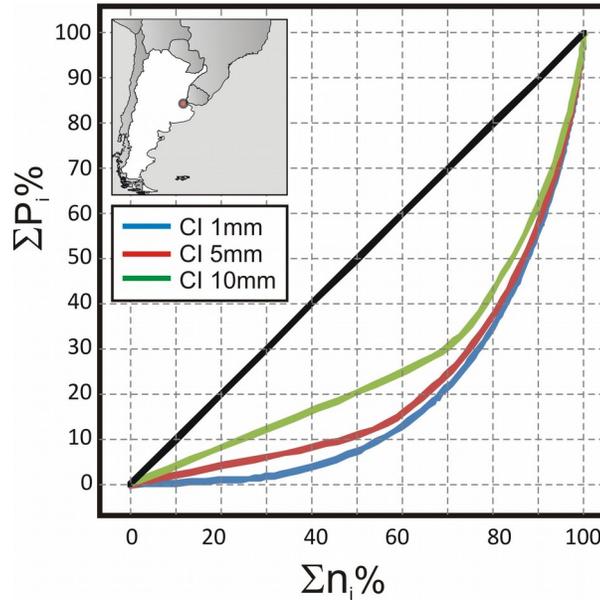
398

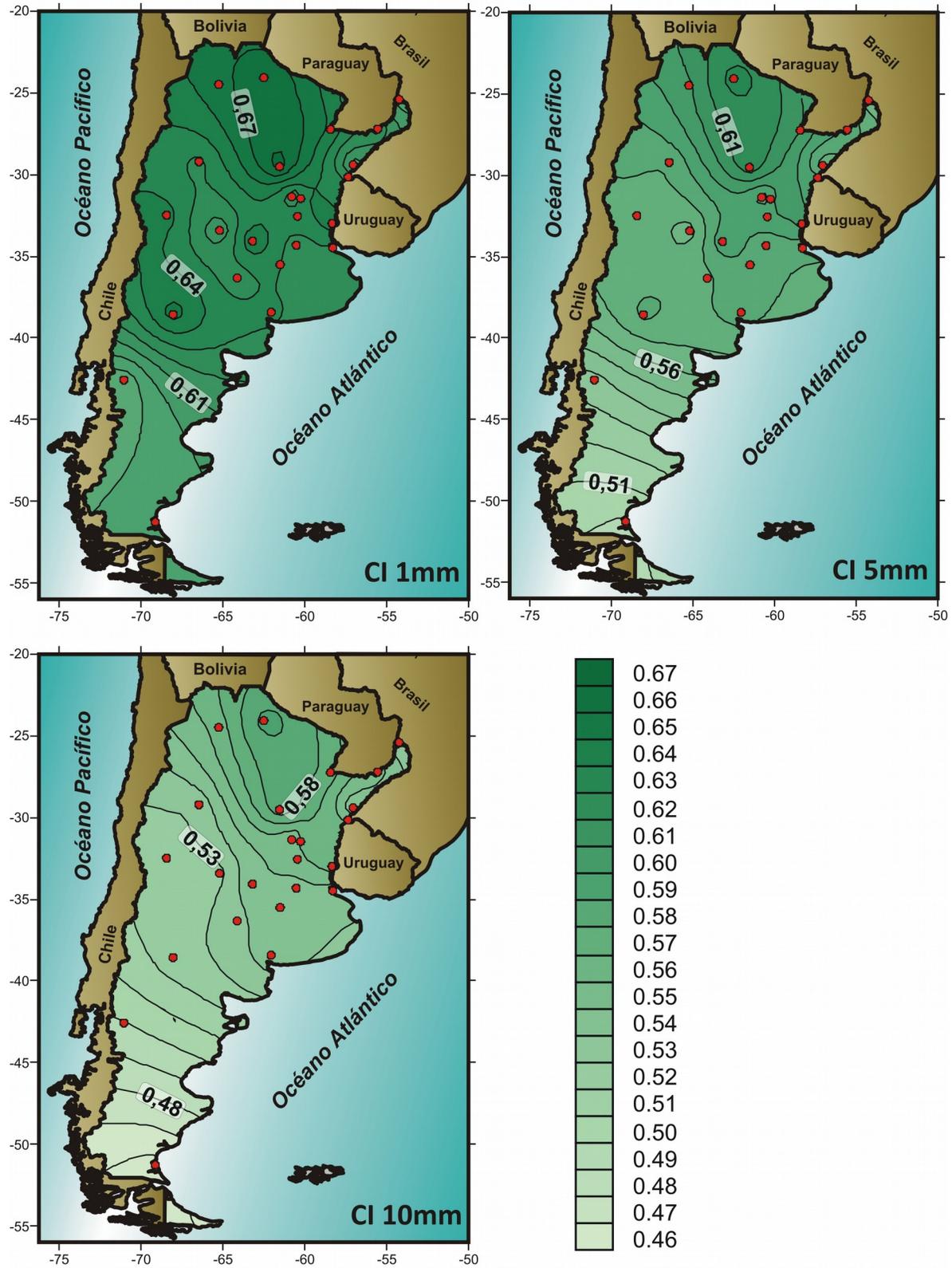
399

400

401

402





403 Figura 2: Isolíneas de CI para las 3 categorías (CI 1mm, CI5mm, CI10mm, derecha) para el período
404 1961-2018.

405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436

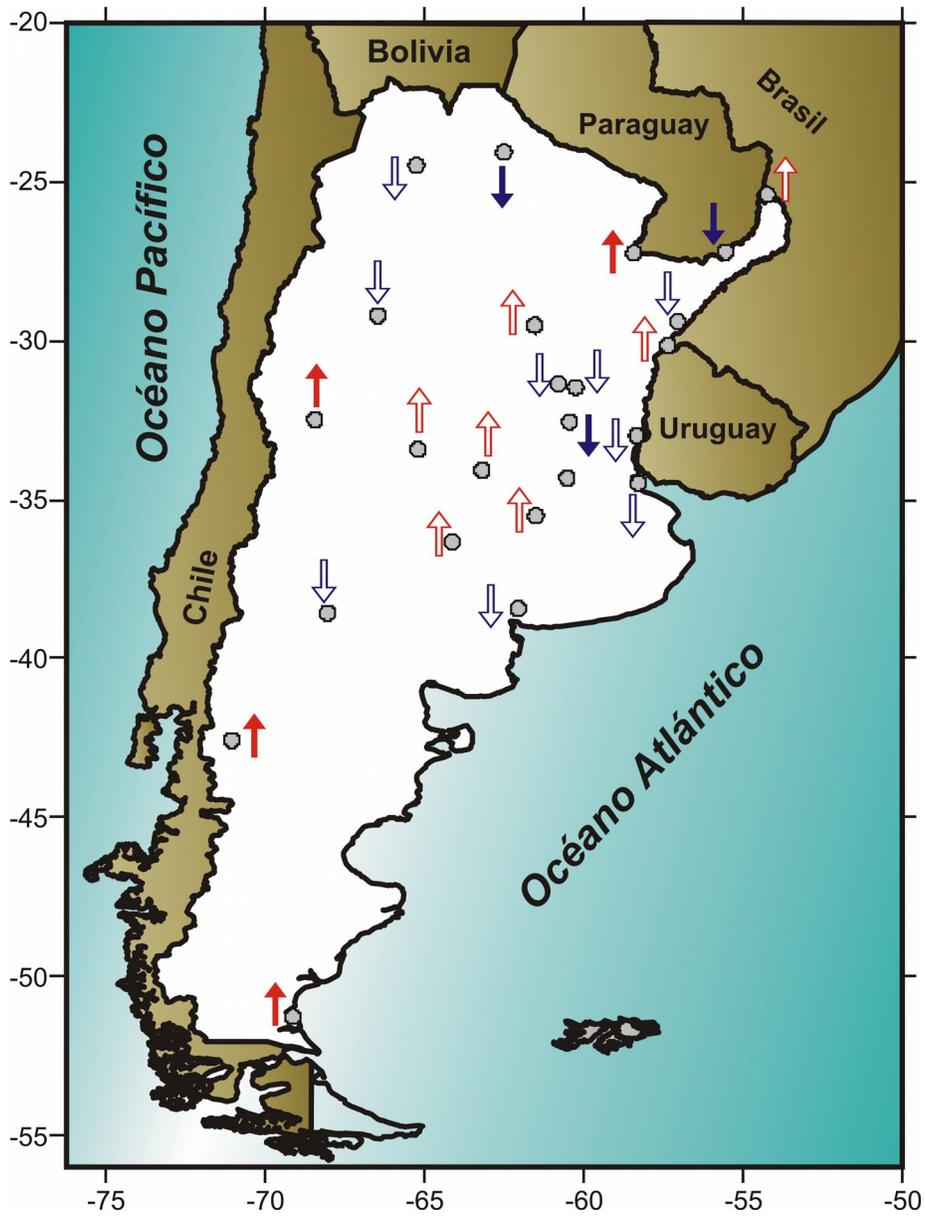
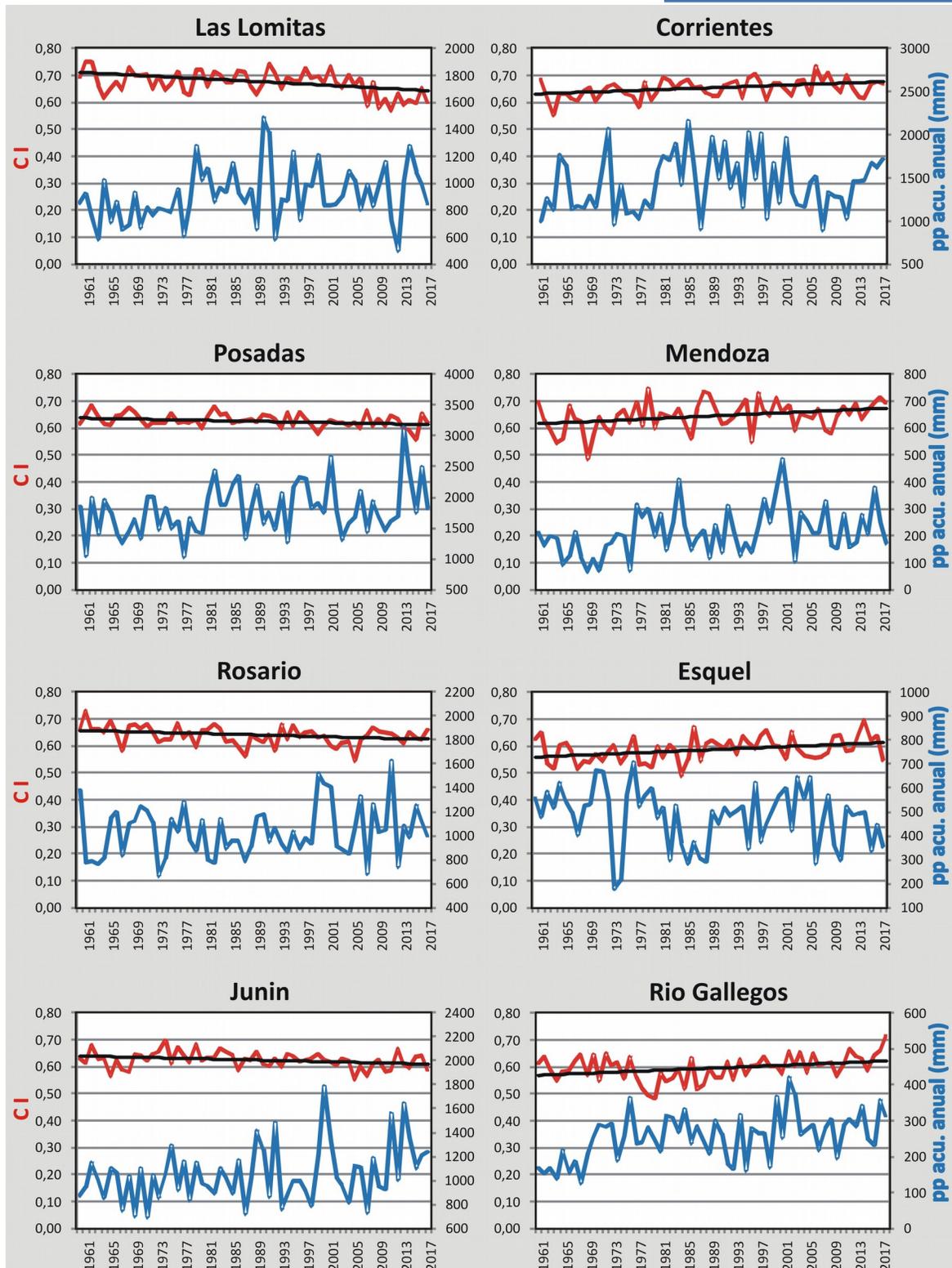


Figura 3: Tendencias para los valores anuales de CI 1mm según Mann Kendall (1961-2018). Flechas llenas significativas al 5%, rojas (azules) positivas (negativas).



437 Figura 4: Valores anuales de CI 1mm (línea roja) con tendencia significativa (Mann Kendall 5%) y en
 438 línea negra la pendiente estimada por Sen. En conjunto con los valores de precipitación acumulada
 439 anual (línea azul).

Artículo en edición

440

441

442

443

| Estaciones | Longitud | Latitud | Altitud (msnm) | PP acu anual media (mm) | Nº medio de días con pp por año | Coefficiente de Variación (%) |
|--------------------|----------|---------|----------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Salta | -65,29 | -24,51 | 1221 | 747,6 | 92,8 | 20,5 |
| Las Lomitas | -62,54 | -24,1 | 130 | 910,2 | 81,1 | 22,0 |
| Iguazú | -54,28 | -25,44 | 270 | 1840,6 | 104,2 | 26,8 |
| Corrientes | -58,46 | -27,27 | 62 | 1411,1 | 96,4 | 25,7 |
| Posadas | -55,58 | -27,22 | 125 | 1792,7 | 111,5 | 22,7 |
| La Rioja | -66,49 | -29,23 | 429 | 386,0 | 46,4 | 31,5 |
| Ceres | -61,57 | -29,53 | 88 | 930,9 | 83,8 | 22,9 |
| Paso de los Libres | -57,09 | -29,41 | 70 | 1494,9 | 90,6 | 27,0 |
| Sauce Viejo | -60,49 | -31,42 | 18 | 1022,5 | 76,2 | 22,1 |
| Paraná | -60,29 | -31,47 | 78 | 1110,7 | 84,4 | 20,0 |
| Monte Caseros | -57,39 | -30,16 | 54 | 1469,1 | 96,3 | 20,9 |
| Mendoza | -68,47 | -32,5 | 704 | 213,4 | 40,8 | 40,9 |
| Villa Reynolds | -65,23 | -33,44 | 486 | 707,2 | 76,7 | 24,5 |
| Rosario | -60,47 | -32,55 | 25 | 1029,1 | 83,7 | 20,6 |
| Guaqueguaychú | -58,37 | -33 | 23 | 1140,2 | 89,7 | 26,6 |
| Laboulaye | -63,22 | -34,08 | 137 | 889,1 | 85,8 | 21,7 |
| Pehuajó | -61,54 | -35,52 | 87 | 935,2 | 81,6 | 21,9 |
| Junín | -60,55 | -34,33 | 81 | 1049,1 | 84,7 | 22,1 |
| Ezeiza | -58,32 | -34,49 | 20 | 1002,7 | 90,5 | 20,2 |
| Santa Rosa | -64,16 | -36,34 | 191 | 723,6 | 74,2 | 27,8 |
| Neuquén | -68,08 | -38,57 | 271 | 198,8 | 46,3 | 47,3 |
| Bahía Blanca | -62,1 | -38,44 | 83 | 642,3 | 77,8 | 23,1 |
| Esquel | -71,09 | -42,56 | 797 | 478,3 | 79,9 | 25,0 |
| Río Gallegos | -69,17 | -51,37 | 19 | 255,2 | 91,4 | 25,3 |

444

445 Tabla I: Ubicación geográfica de las 24 estaciones (longitud, latitud y altitud), junto con parámetros me-
446 dios: precipitación acumulada anual, número de días con precipitación y coeficiente de variación.

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

| Intervalo | Valor medio | n_i | Σn_i | P_i | ΣP_i | Σn_i (%) = X | ΣP_i (%) = Y |
|-------------|-------------|-------|--------------|--------|--------------|----------------------------|----------------------------|
| 0,1 - 1 | 0,5 | 1296 | 1296 | 648 | 648 | 24,69 | 1,13 |
| 1,1 - 2 | 1,5 | 451 | 1747 | 676,5 | 1324,5 | 33,28 | 2,30 |
| 2,1 - 3 | 2,5 | 351 | 2098 | 877,5 | 2202 | 39,97 | 3,82 |
| 3,1 - 4 | 3,5 | 290 | 2388 | 1015 | 3217 | 45,49 | 5,59 |
| 4,1 - 5 | 4,5 | 265 | 2653 | 1192,5 | 4409,5 | 50,54 | 7,66 |
| 5,1 - 6 | 5,5 | 192 | 2845 | 1056 | 5465,5 | 54,20 | 9,49 |
| 6,1 - 7 | 6,5 | 204 | 3049 | 1326 | 6791,5 | 58,09 | 11,79 |
| 7,1 - 8 | 7,5 | 168 | 3217 | 1260 | 8051,5 | 61,29 | 13,98 |
| 8,1 - 9 | 8,5 | 153 | 3370 | 1300,5 | 9352 | 64,20 | 16,24 |
| 9,1 - 10 | 9,5 | 138 | 3508 | 1311 | 10663 | 66,83 | 18,52 |
| 10,1 - 11 | 10,5 | 91 | 3599 | 955,5 | 11618,5 | 68,57 | 20,18 |
| 11,1 - 12 | 11,5 | 111 | 3710 | 1276,5 | 12895 | 70,68 | 22,39 |
| 12,1 - 13 | 12,5 | 94 | 3804 | 1175 | 14070 | 72,47 | 24,43 |
| 13,1 - 14 | 13,5 | 86 | 3890 | 1161 | 15231 | 74,11 | 26,45 |
| 14,1 - 15 | 14,5 | 75 | 3965 | 1087,5 | 16318,5 | 75,54 | 28,34 |
| 15,1 - 16 | 15,5 | 90 | 4055 | 1395 | 17713,5 | 77,25 | 30,76 |
| 16,1 - 17 | 16,5 | 71 | 4126 | 1171,5 | 18885 | 78,61 | 32,80 |
| 17,1 - 18 | 17,5 | 67 | 4193 | 1172,5 | 20057,5 | 79,88 | 34,83 |
| 18,1 - 19 | 18,5 | 57 | 4250 | 1054,5 | 21112 | 80,97 | 36,66 |
| 19,1 - 20 | 19,5 | 52 | 4302 | 1014 | 22126 | 81,96 | 38,42 |
| 20,1 - 21 | 20,5 | 63 | 4365 | 1291,5 | 23417,5 | 83,16 | 40,67 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 127,1 - 128 | 127,5 | 1 | 5248 | 127,5 | 57452 | 99,98 | 99,77 |
| 128,1 - 129 | 128,5 | 0 | 5248 | 0 | 57452 | 99,98 | 99,77 |
| 129,1 - 130 | 129,5 | 0 | 5248 | 0 | 57452 | 99,98 | 99,77 |
| 130,1 - 131 | 130,5 | 1 | 5249 | 130,5 | 57582,5 | 100,00 | 100,00 |

460

461 Tabla II: Distribución de frecuencias en intervalos de 1 mm, frecuencia acumulada X y su correspon-
462 diente porcentaje del total de precipitación Y, para la estación Ezeiza (1961-2018).

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

Artículo en edición

478

| Estaciones | CI 1mm | 25% 1mm | 10% 1mm | CI 5mm | 25% 5mm | 10% 5mm | CI 10mm | 25% 10mm | 10% 10mm |
|--------------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Salta | 0,66 | 76,5 | 45,7 | 0,61 | 70,5 | 40,3 | 0,56 | 65,9 | 36,6 |
| Las Lomitas | 0,67 | 77,9 | 46,3 | 0,63 | 73,7 | 42,6 | 0,59 | 69,0 | 38,4 |
| Iguazú | 0,59 | 72,0 | 39,6 | 0,56 | 68,1 | 37,6 | 0,53 | 64,3 | 34,7 |
| Corrientes | 0,65 | 76,3 | 44,3 | 0,61 | 71,7 | 40,5 | 0,58 | 67,7 | 37,4 |
| Posadas | 0,63 | 74,7 | 42,6 | 0,59 | 70,0 | 39,1 | 0,55 | 66,2 | 36,4 |
| La Rioja | 0,63 | 73,9 | 42,8 | 0,58 | 68,1 | 38,3 | 0,53 | 63,0 | 34,2 |
| Ceres | 0,67 | 78,5 | 46,9 | 0,63 | 72,9 | 42,0 | 0,59 | 68,6 | 38,4 |
| Paso de los Libres | 0,60 | 72,7 | 40,5 | 0,57 | 68,6 | 38,0 | 0,54 | 64,7 | 34,9 |
| Sauce Viejo | 0,62 | 73,5 | 41,5 | 0,58 | 68,9 | 38,2 | 0,55 | 65,1 | 35,5 |
| Paraná | 0,64 | 75,4 | 43,6 | 0,60 | 70,6 | 39,8 | 0,57 | 66,6 | 36,5 |
| Monte Caseros | 0,63 | 74,5 | 42,3 | 0,59 | 70,1 | 39,5 | 0,56 | 66,2 | 36,4 |
| Mendoza | 0,64 | 75,1 | 44,4 | 0,58 | 67,5 | 37,7 | 0,53 | 62,2 | 33,4 |
| Villa Reynolds | 0,61 | 72,8 | 41,4 | 0,56 | 66,9 | 37,3 | 0,53 | 62,7 | 34,0 |
| Rosario | 0,64 | 75,1 | 43,3 | 0,60 | 70,3 | 39,7 | 0,56 | 65,8 | 36,3 |
| Galeguaychú | 0,64 | 75,8 | 43,9 | 0,60 | 70,7 | 40,0 | 0,56 | 66,5 | 36,7 |
| Laboulaye | 0,65 | 76,2 | 44,1 | 0,60 | 70,1 | 39,0 | 0,55 | 64,9 | 35,1 |
| Pehuajo | 0,63 | 74,7 | 43,1 | 0,59 | 69,4 | 38,8 | 0,55 | 65,1 | 35,4 |
| Junín | 0,62 | 74,0 | 42,1 | 0,58 | 68,9 | 38,4 | 0,55 | 64,9 | 35,3 |
| Ezeiza | 0,63 | 74,3 | 42,4 | 0,58 | 68,8 | 38,6 | 0,54 | 64,6 | 35,2 |
| Santa Rosa | 0,62 | 74,1 | 42,5 | 0,58 | 68,2 | 37,7 | 0,54 | 63,8 | 34,5 |
| Neuquén | 0,65 | 75,9 | 45,1 | 0,58 | 67,7 | 37,8 | 0,53 | 61,8 | 32,8 |
| Bahía Blanca | 0,63 | 74,6 | 43,3 | 0,58 | 68,7 | 38,6 | 0,55 | 64,2 | 34,5 |
| Esquel | 0,58 | 70,2 | 39,3 | 0,54 | 63,9 | 34,7 | 0,50 | 59,7 | 31,2 |
| Río Gallegos | 0,60 | 70,3 | 39,3 | 0,50 | 59,4 | 30,6 | 0,46 | 55,2 | 27,7 |

479

480 Tabla III: Valores de los índices de concentración para las 3 categorías de intervalo (CI 1mm, CI 5mm y
481 CI 10mm) con sus respectivos porcentajes de precipitación total que aportan el 25% y el 10% de los
482 días más lluviosos.

483

484

| | CI 1mm | CI 5mm | CI 10 mm |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| pp acu | -0,09 | 0,31 | 0,48 |
| días | -0,19 | 0,04 | 0,22 |
| CV | 0,08 | -0,18 | -0,33 |
| longitud | 0,04 | 0,41 | 0,55 |
| latitud | 0,44 | 0,76 | 0,79 |
| altitud | -0,03 | -0,10 | -0,17 |

485

486 Tabla IV: Coeficiente de correlación de Pearson entre los 3 índices y la precipitación anual acumulada
487 media, la cantidad de días con precipitación media, el coeficiente de variación, la longitud, la latitud y
488 la altitud de las estaciones. En negrita los valores significativos al 5%.

489

490

491

492

493