

## Análisis de Homogeneidad, Tendencias y Saltos de las Precipitaciones en la Provincia de Misiones

Fátima Schoninger<sup>a,b,\*</sup> , Alberto Ismael Juan Vich<sup>c,d</sup>,  
Darío Tomás Rodríguez<sup>a</sup>, José Javier Fernández<sup>a,b</sup>, Ariana Giselle Seufert<sup>a,b</sup> 

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ingeniería. Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).

<sup>c</sup> Universidad Nacional de Cuyo. Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. Mendoza, Argentina.

<sup>d</sup> Centro Científico Tecnológico CONICET – MENDOZA.

e-mails: fatima.schoninger@fio.unam.edu.ar, aijvich@mendoza-conicet.gob.ar, dario.rodriguez@fio.unam.edu.ar,  
jose.fernandez@fio.unam.edu.ar, ariana.seufert@fio.unam.edu.ar

---

### Resumen

A partir de la necesidad de la gestión integral de recursos hídricos, los hidrólogos requieren conocer los componentes del ciclo hidrológico y su comportamiento ante la presencia del cambio climático. Actualmente muchos investigadores dirigen sus estudios a la identificación de tendencias en series de variables hidrometeorológicas, utilizando pruebas paramétricas y no paramétricas. En este artículo se presenta un análisis de precipitaciones del periodo 1991-2018 para 14 estaciones de la provincia de Misiones. Tiene como objetivo detectar tendencias o cambios graduales y cambios abruptos o saltos en los valores medios de una serie de precipitaciones de 28 años, en una región que evidencia carencia de datos confiables con relación a la variabilidad de precipitaciones en la provincia. Para ello, se estudió previamente las condiciones de normalidad, aleatoriedad e independencia, para luego realizar el análisis de tendencias o saltos. Además, se evaluó la consistencia y homogeneidad de datos. Se realizó un análisis exploratorio de datos considerando los supuestos de normalidad, aleatoriedad e independencia, donde el 13% de los datos no cumple con uno o más de los tres supuestos. Además, se llevaron a cabo pruebas paramétricas y no paramétricas para detectar tendencias y saltos en la serie, que arrojaron como resultados que el 5% de los datos presenta una tendencia, de los cuales el 69% es positiva y el 31% con tendencias negativas. Con respecto a los saltos detectados el 58% resultaron ser positivo.

**Palabras Clave:** Precipitaciones, Serie de datos, Tendencia, Salto, Homogeneidad de datos.

---

### Abstract

Based on the need for comprehensive management of water resources, hydrologists need to know the components of the hydrological cycle and their behavior in the presence of climate change. Currently, many researchers direct their studies to identify trends in series of hydrometeorological variables, using parametric and non-parametric tests. This article presents an analysis of rainfall during the period 1991-2018 for 14 stations in the province of Misiones. The objective is to detect trends or gradual changes and abrupt changes or jumps in average values of a 28-year series of rainfall, considering there is a lack of reliable data regarding the variability of rainfall in the province. For this, the conditions of normality, randomness and independence were previously studied, to then carry out analysis of trends or jumps. In addition, the consistency and homogeneity of data was evaluated. An exploratory data analysis was carried out taking into account the assumptions of normality, randomness and independence, where 13% of the data does not meet one or more of the three assumptions. Furthermore, parametric and non-parametric tests were conducted to detect trends and jumps in the series. The analysis revealed that 5% of the data presents a trend, of which 69% are positive and 31% negative. Regarding the jumps detected, 58% turned out to be positive.

**Keywords:** Rainfall, Data series, Trend, Jump, Data homogeneity.

---

## 1. Introducción

Ubicada sobre el Acuífero Guaraní, uno de los reservorios de agua dulce más grande del mundo, la Selva Misionera, también conocida como Selva Paranaense, Selva Atlántica, ocupa la tercera parte del territorio de la provincia de Misiones. Las precipitaciones promedio de 1800 mm anuales, conllevan un alto porcentaje de humedad y un clima subtropical sin estación seca [1] y 2]. El sistema hídrico de Misiones cuenta con tres ríos principales que son el Paraná, el Iguazú y el Uruguay, además de estos importantes cursos de agua, se hallan aproximadamente 800 arroyos dentro del territorio provincial. La mayoría de estos cauces internos nacen en el sector de las Sierras Centrales y en la altiplanicie del departamento de San Pedro, el gran centro dispersor de aguas, y desde allí bajan formando saltos y cascadas con ecosistemas de gran diversidad biológica [3].

Sin embargo, la expansión de la frontera agrícola se ha identificado como la mayor amenaza para la reducción de los bosques en la región misionera y como consecuencia una posibilidad de variabilidad climática. El incremento de los cultivos como soja, caña de azúcar, maíz, trigo, tabaco, yerba mate, té y plantaciones de pino y eucalipto, además de la cría de ganado, la caza con fines comerciales, culturales o de subsistencia, las altas tasas de crecimiento poblacional y el escaso conocimiento de los problemas ambientales de la ecorregión por parte de sus pobladores, entre otras causales, son los responsables de la degradación de la selva sumado a la explotación tradicional del monte nativo [3].

Históricamente en la región serrana de Misiones, la selva Paranaense autóctona ha contribuido a minimizar las afectaciones negativas desencadenadas por las intensas precipitaciones, reduciendo los volúmenes de escurrimiento directo y las velocidades de flujo, a la vez que el sistema radicular aporta al sustento del suelo, mitigando los procesos erosivos y optimizando por procesos de infiltración y almacenamiento de humedad en el suelo. Sin embargo, en los últimos años se acentuó el cambio de las condiciones hidroambientales de la región, presentándose mayor variabilidad en el régimen de precipitaciones, particularmente de los extremos (máximos o mínimos) [4]. Diversos autores, entre ellos Dickie y Coronel creen indispensable incorporar a la gestión de los recursos hídricos consideraciones sobre el Cambio Climático (CC). Particularmente, [4] en su informe “Cambio climático, breve historia y tendencias en la Región Húmeda” para la región comprendida por las provincias de Corrientes y Misiones, se observa un aumento paulatino de las temperaturas mínimas, medias y máximas, se registró un aumento en las precipitaciones medias anuales de 94,1 mm (representando un aumento del orden 5% en 60 años para la región). Además, los autores afirman que dicho aumento se produjo en todas las estaciones del año, excepto en el invierno en el que prácticamente hubo una disminución de la precipitación. Esta última conclusión hace presuponer que, además de un aumento de las precipitaciones existe una tendencia a la concentración de las lluvias en los meses no invernales.

En el presente artículo se estudia los supuestos de la normalidad, aleatoriedad e independencia de las precipitaciones. Asimismo, se detectaron los cambios graduales o tendencias y saltos o cambios abruptos en el régimen de precipitaciones de la provincia de Misiones mediante la aplicación de tests paramétricos y no paramétricos. Para ello se utilizaron los registros de 14 estaciones del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional comprendida desde el año 1991 hasta el 2018, es decir una serie de 28 años.

## 2. Metodología

Se realizó un análisis de los datos de precipitaciones de 14 estaciones proporcionadas por el Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional para el periodo comprendido entre los años 1991 al 2018, se consideró este periodo por contar con la mayor cantidad de información. Los datos mensuales faltantes se completaron con el método directo, siguiendo a Orsolini et al. [5]. Se aplicó el método de dobles acumulaciones para analizar la consistencia de datos de las 14 estaciones estudiadas por comparación con los datos confiables de la estación del INTA de Cerro Azul. Las estaciones analizadas se presentan en la Tabla 1 y se visualizan geográficamente en la Fig. 1.

**Tabla 1: Estaciones analizadas.**

Estación	Nombre	Latitud Sur	Longitud Oeste
E1	Puerto Concepción	28° 07' 07,6"	55° 34' 51,6"
E2	San Javier	27° 52' 8,4"	55° 07' 48"
E3	Colonia Mártires	27° 24' 3,6"	55° 20' 06"
E4	Campo Grande	27° 13' 26,4"	54° 58' 8,4"
E5	Aristóbulo del Valle	27° 05' 38,4"	54° 52' 8,4"
E6	El Soberbio	27° 17' 56,4"	54° 11' 38,4"
E7	Pepirí Miní	27° 9' 14,4"	53° 55' 58,8"
E8	San Vicente	27°	54° 30' 25,2"
E9	El Alcázar	26° 45' 3,6"	54° 45' 21,6"
E10	San Pedro	26° 38' 6"	54° 5' 24"
E11	Pinar Ciba	26° 30' 43,2"	54° 27' 14,4"
E12	Valle Hermoso	26° 21' 18"	54° 29' 52,8"
E13	Puerto Andresito	25° 35' 27,6"	53° 59' 42"
E14	Itá Cajón	25° 36' 14,4"	54° 35' 34,8"
E15	INTA Cerro Azul	27° 39' 24,7"	55° 26' 13,4"

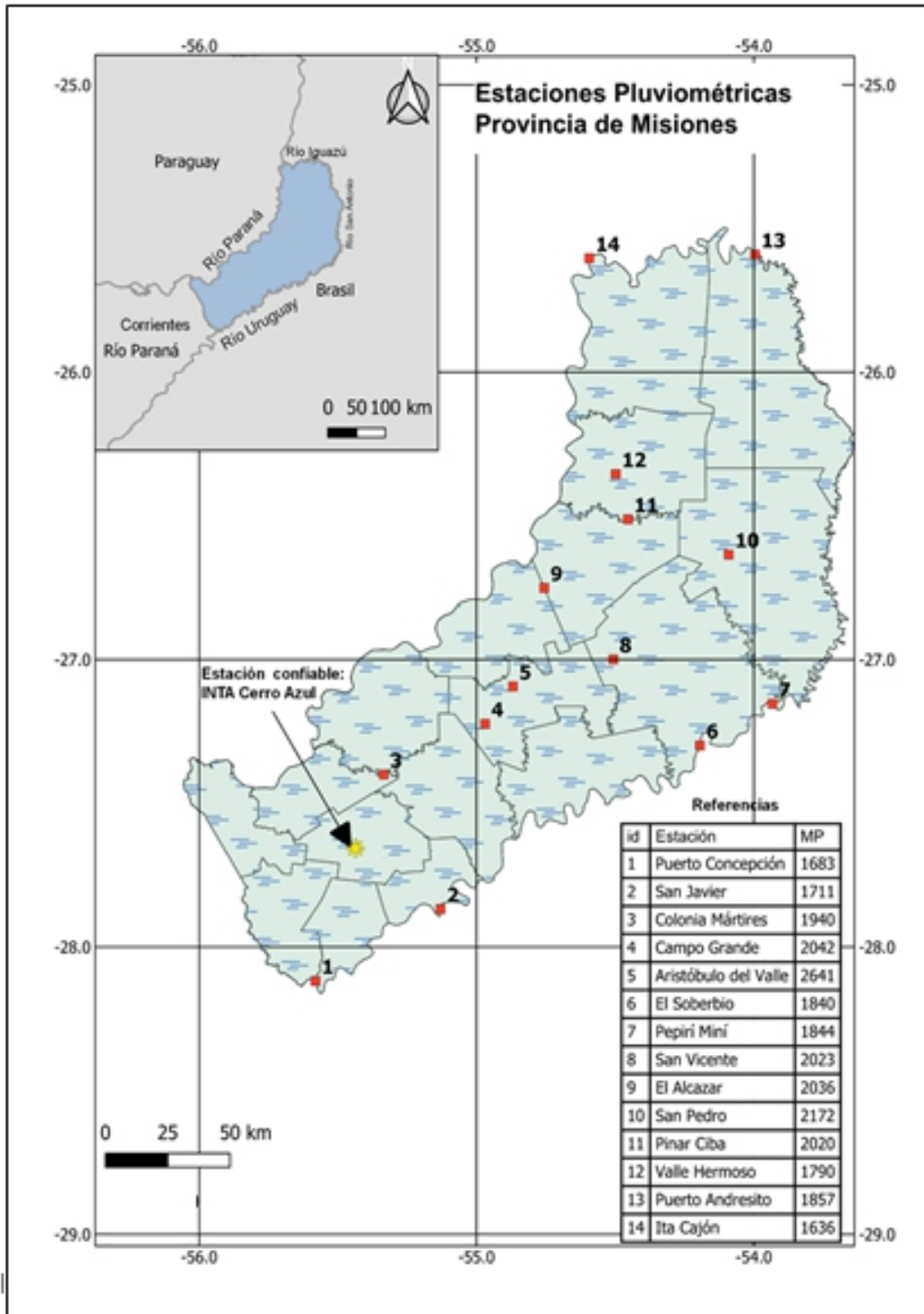


Fig. 1: Estaciones analizadas.

Si los valores acumulados de cada estación en cuestión son proporcionales a los valores acumulados de la estación de confianza, se obtiene una recta cuya pendiente representa el coeficiente de proporcionalidad. Se considera a los datos inconsistentes si, a partir de un determinado momento, se observa un cambio de pendiente formado por más de cinco puntos, en ese caso no se consideran representativos [5].

La población a estudiar es el conjunto de datos de 14 estaciones meteorológicas de la provincia de Misiones, donde la muestra representativa de esta población son los datos mensuales de precipitación de cada una de las mismas.

A partir de los módulos anuales y por medio de diferentes test estadísticos simples se detectó la existencia de aleatoriedad o una secuencia en los datos, cambios graduales o abruptos, Fig 2. Además, para aplicar los test paramétricos según Lauro et al. [6], los datos deben contar con la hipótesis de normalidad, si la misma es rechazada, el test pierde robustez, es decir es dudoso [7].

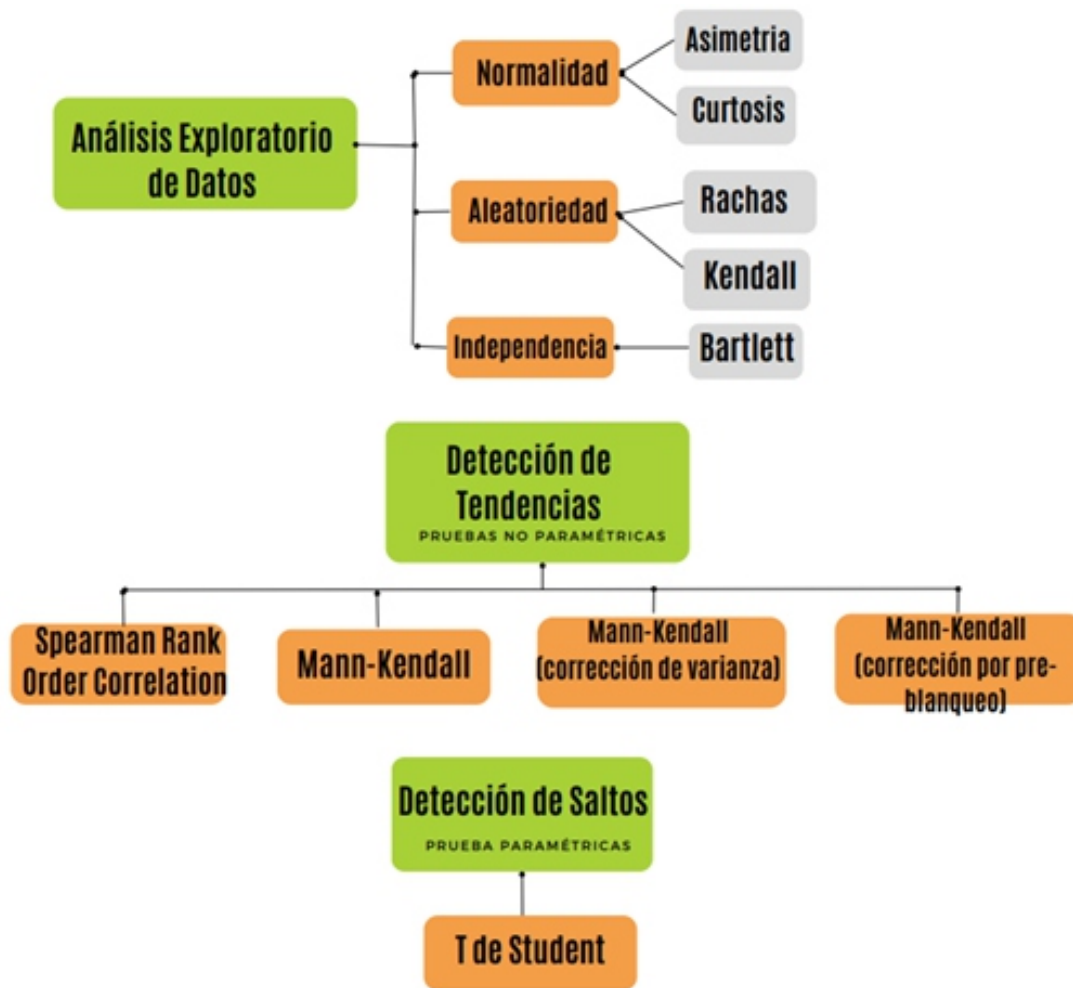


Fig. 2: Test empleados para el análisis de la serie de precipitaciones.

Para el supuesto de Normalidad se usaron los siguientes test:

2.1 Test de Asimetría:

$$Z_{asimetría} = \frac{asimetría}{\frac{6}{N}} \quad (1)$$

2.2 Test de Curtosis:

$$Z_{curtosis} = \frac{curtosis}{\frac{24}{N}} \quad (2)$$

Siendo N el tamaño de la muestra Si es cierta la hipótesis de normalidad ambos se distribuyen asintóticamente según una N(0,1) [7].

Para el supuesto de Aleatoriedad se usaron los siguientes test [6]-[8]:

### 2.3 Test de Rachas

Permite verificar la hipótesis nula de que la muestra es aleatoria, lo cual indica si las sucesivas observaciones son independientes. Este contraste se basa en el número de rachas (secuencia de valores sucesivos iguales) que presenta una muestra. Se asigna un indicador, según esté por encima o debajo de la mediana muestral, se establece el número de rachas y de datos que posee cada indicador:

$$Z_{rachas} = \frac{NR - \frac{2N_1N_2}{N_1+N_2} + 1}{\sqrt{\frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1+N_2)^2 + (N_1+N_2 - 1)}}} \quad (3)$$

donde NR es el número de rachas y N1 y N2 el número de datos de los indicadores.

### 2.4 Test de Kendall

Permite comprobar la presencia de aleatoriedad en una muestra de datos, teniendo en cuenta el rango de una serie de puntos de inflexión, picos y valles que deberían distribuirse al azar.

$$I_i = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i > x_{i-1} \text{ y si } x_i > x_{i+1} \\ -1 & \text{si } x_i < x_{i-1} \text{ y } x_i < x_{i+1} \\ 0 & \text{Para todo } i = 2 \dots N - 1 \end{cases} \quad (4)$$

Se define una nueva serie (la antes mencionada) y se calcula el número de puntos de inflexión Q:

$$Q = \sum_{i=2}^{N-2} I_i \quad (5)$$

El estadístico de contraste C, tiene distribución aproximadamente normal N (0,1). Donde Q número de puntos de inflexión:

$$C = \frac{Q - \frac{2N-4}{3}}{\sqrt{\frac{(16N-29)}{90}}} \quad (6)$$

### 2.5 Test de Bartlett:

Para el supuesto de independencia, se asume en este test, que las observaciones de la muestra siguen una distribución normal. La independencia de las observaciones en la serie se comprueba mediante el coeficiente de autocorrelación. La hipótesis nula es que la autocorrelación sea cero, lo que significa que los datos posteriores en la muestra son independientes. El coeficiente se calcula con la ecuación 7:

$$r_i = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_i - MEDIA)(x_{i+1} - MEDIA)}{\sum_{i=1}^N (x_i - MEDIA)^2} \quad (7)$$

donde  $\frac{r_1 \sqrt{df}}{\sqrt{(1-r_1^2)}}$  es el estadístico de contraste y los grados de libertad  $= (N - 3) \frac{1-r_1^2}{1+r_1^2}$

Se entiende como tendencia al cambio gradual a largo plazo en la media de una variable. La presencia de tendencia equivale a decir que la serie es no estacionaria. Para detectar tendencias o

cambios graduales se usaron test no paramétricos de Spearman Rank Order Correlation Test (SROC), Mann-Kendall, y sus correcciones por varianza y pre-blanqueo.

### 2.6 Spearman Rank Order Correlation Test (SROC)

Es un test basado en un orden de rango s para medir la relación monótona entre dos variables que suelen censurarse y no se distribuyen normalmente. La correlación de orden de rango de Spearman se encuentra entre -1 y 1. La detección de la potencia de la prueba de correlación de rango de Spearman es importante en el análisis de los datos de serie temporal hidrológica [7].

### 2.7 Test de Mann-Kendall

Es ampliamente aplicado en estudio de identificación de tendencias en series hidrometeorológicas y otras series ambientales. El test de Mann-Kendall es un test no paramétrico que permite identificar si existe una tendencia en la serie temporal que se desea estudiar, determina la tendencia (positiva, negativa o cero) de una muestra de N datos donde se conserva el orden cronológico en el que fueron tomados. La hipótesis nula establece que no hay una tendencia en el conjunto de datos [6], [8].

### 2.8 Test de Mann y Kendall con corrección de la varianza

Está basada en la corrección de la varianza en función del número efectivo de observaciones. Su importancia radica en que detecta tendencias que no existen realmente, lo que significaría rechazar la hipótesis nula cuando esta es cierta [6][8].

### 2.9 Test de Mann y Kendall con corrección por pre-blanqueo

Este procedimiento de pre-blanqueo es para eliminar el efecto de la correlación serial. Se basa en determinar una nueva serie de datos donde cada valor, es dividido por el promedio; luego, la tendencia y autocorrelación de primer orden es removida. Se recarga la tendencia y se aplica el test de Mann y Kendall original, donde se determina si la tendencia no paramétrica es estadísticamente distinta de cero. [6][8]

### 2.10 Test t de Student

Para detectar cambios abruptos en la serie de precipitaciones se recurrió al Test t de Student.

Este test detecta puntos de quiebre estadísticamente significativos de manera más frecuente que los otros test, para ello, debe eliminarse previamente la tendencia y la serie debe tener una distribución normal. Se basa en la verificación de la igualdad estadística de dos medias muestrales, lo que significa que ambas muestras pertenecen a la misma población y, por lo tanto, no ha habido cambios abruptos en el régimen de precipitaciones [6], [8]-[10].

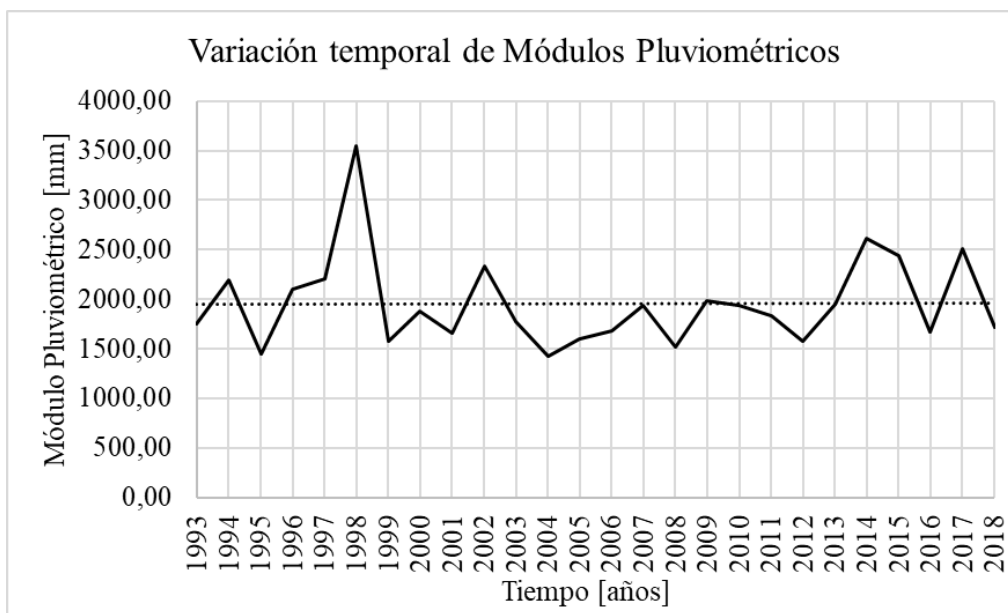
## 3. Resultados

Se obtienen los módulos anuales de las precipitaciones para cada estación analizada, donde el menor valor de precipitación anual se produjo en el año 2004, coincidiendo con un período de escasas lluvias [1]. La media anual de precipitaciones (1955 mm) que se muestra en la Tabla 2, puede ser considerada como un valor climático para la zona analizada ya que es superior a los citados en las descripciones climáticas para esta región. La variación temporal de módulos pluviométricos anuales se muestra en la Fig. 3.



**Tabla 2: Módulos pluviométricos anuales.**

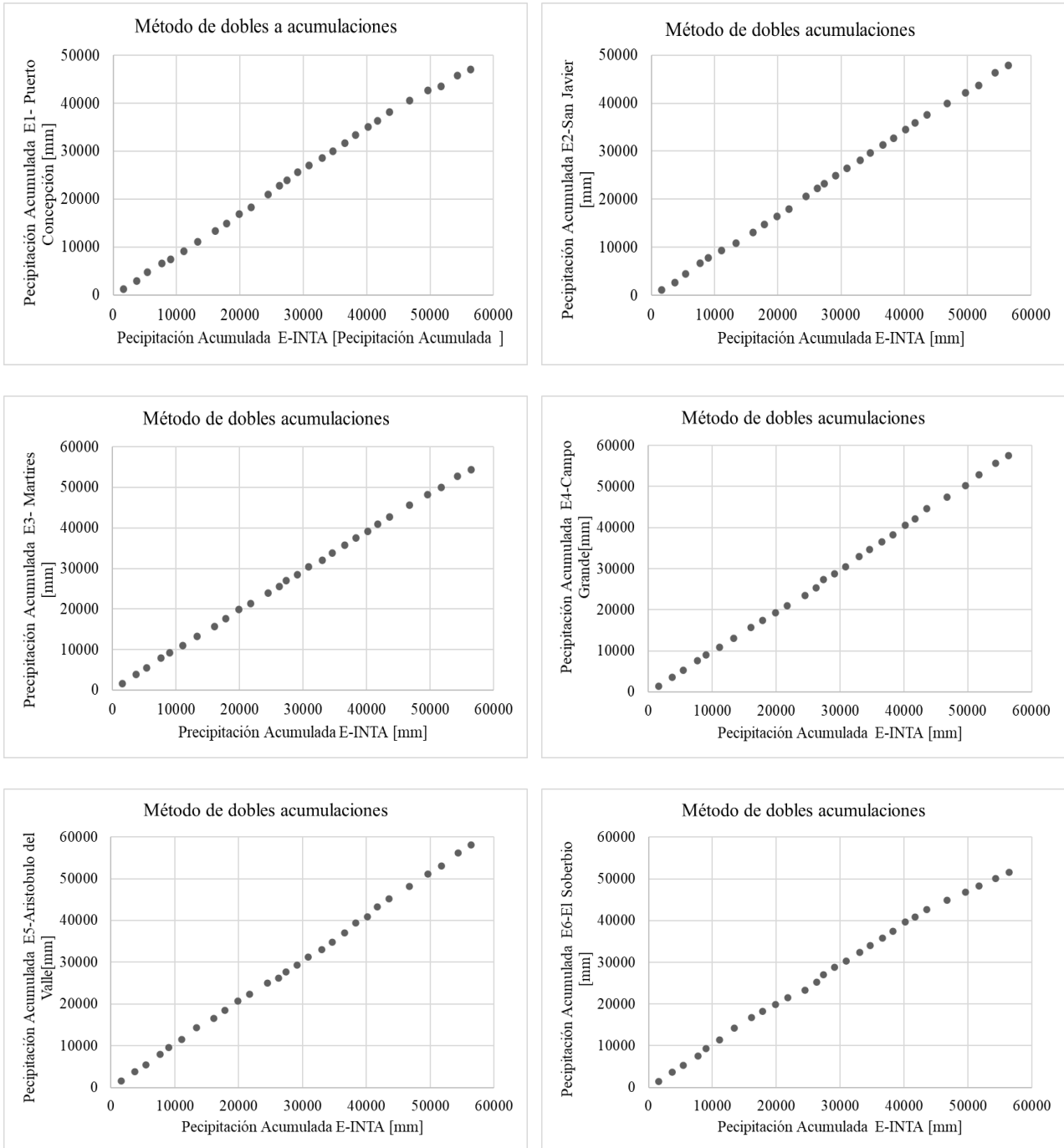
Año	Módulos Pluviométricos anuales para cada estación [mm]														MP Anual [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	
1993	1891	1887	1715	1645	1594	1716	1621	1587	1928	2223	1615	1552	1974,5	1575	1751,68
1994	1800	2133	2386	2397,5	2444	2195	2296,5	2579	2207,7	2262	2325,6	1968,6	1889	1799,2	2191,65
1995	895	1107	1322,5	1251	1474	1774	1494	1828	1758,1	1872,7	1730,5	1466,9	1493,5	799,5	1447,62
1996	1659	1560	1957	1929	2333,5	2229	2104	2440	2457,6	2477	2289,1	1562	2228,5	2130	2096,84
1997	2051	1505	2162,5	2355	2404	2877	2283	2155	2403,4	2469	2611,9	1520	2186,5	1956	2209,95
1998	2251	2267	2416	2568	17835,5	2329	2441	2460	2577,6	3031,3	2544,5	2329	2531	2053	3545,28
1999	1577	1707	1919	1755	2445	1545,4	1527,6	1397	1181,1	1838,1	1392,3	1105,3	1395	1266,3	1575,08
2000	1890	1678	1839,72	1737	1969,5	1613	1822,5	1672,3	1940,6	2436,1	2412,01	1889,9	1679,5	1731	1879,37
2001	1453	1537	1727	1705	2024	1492	1544	1798,6	1694,5	2086,5	1731,6	1452,6	1588,5	1446,5	1662,91
2002	2584	2649	2542	2666	2541	2199	2392	2194	2112,5	2560	2489,9	1997	1865,5	1937,5	2337,81
2003	1839	1661	1806,7	1973	1677,5	1858	1859	1843,7	1715	1985,5	1835,3	1559	1742	1477	1773,69
2004	1239	984	1386,5	1661	1411,5	1553,5	1366,5	1391,2	1329,7	1930,7	1599	1346	1543,5	1186	1423,44
2005	1708	1642	1488	1436	1364,9	1698,5	1412,9	1785	1641,5	1965,3	1594,3	1330	1989,3	1390,5	1603,30
2006	1359	1429	1672,5	1967	1906,8	1754,3	1449,1	1933,8	1757,2	1909	2011,3	1789	1294,5	1262	1678,18
2007	1566	1772	1867,5	2328,5	2073,3	1915,9	1905	2120,3	2190	2190,1	2314,1	1978,6	1802	1154	1941,24
2008	1324	1484	1720,9	1655,2	1572,5	1555,3	1696,2	1651,2	1319,5	1854,3	1649,6	1376	1234	1211,5	1521,73
2009	1755	1670	1873	1861,6	2161,5	1872,72	2001,2	1788,3	2039,1	2301,75	2133,65	2181	2405	1672	1979,70
2010	1753,5	1372	1845,5	2015,55	2099	1853,6	1922,3	1869,7	2325	1998,3	2270,4	1973,65	1835,5	1954,5	1934,89
2011	1606	1780	1652,5	2110,6	1953	1966,2	1870,5	1935,3	1729,8	1900,5	2219,7	1903,5	1686	1299,5	1829,51
2012	1345	1453	1735	1975	1761,4	1522,2	1457	1776	1639,5	1330,4	1563	1464	1521,5	1452,7	1571,12
2013	1729	1727	1777,5	2032,6	2087,7	1580,2	1813,4	1958	1796,5	2458,3	2208,8	2084	2172	1832,92	1946,99
2014	2515	2272	2805,5	3050,2	2956,5	2106,8	2080,53	3014	3053,8	3096,5	2865,5	2320	2280,5	2107,29	2608,87
2015	2033	2289	2528,8	3040	3069,5	2170,4	2139,98	2635,7	2760	2790,5	1997,9	2645,6	2029	1991	2437,17
2016	825	1549	1860,5	2132	1810,5	1242,2	1629,7	1753,1	2156	1607	1664	1575,5	1774	1852,5	1673,64
2017	2246	2572	2780,5	2678	3179	1862,3	2126	3113,2	3242	2375	2491	2405	2093	1983	2510,43
2018	1383,61	1578,3	1685,5	1655,2	1986,5	1346,02	1723	2005,5	1990,3	1681,5	1511	1785	1945	1707	1713,10
Prom Est	1702,97	1740,93	1941,27	2060,77	2697,52	1839,52	1845,30	2026,34	2036,38	2178,09	2041,19	1790,74	1853,01	1624,13	1955,58



**Fig. 3: Variación temporal de módulos pluviométricos anuales.**

En las gráficas de la Fig. 4 se aplica el método de dobles acumulaciones, las precipitaciones acumuladas de cada una de las 14 estaciones proporcionadas por el Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional (eje vertical) son comparadas con los datos de precipitación acumulada de la estación confiable (eje horizontal) se considera que no hay inconsistencias representativas o errores sistemáticos.





**Fig. 4: Método de dobles acumulaciones.**

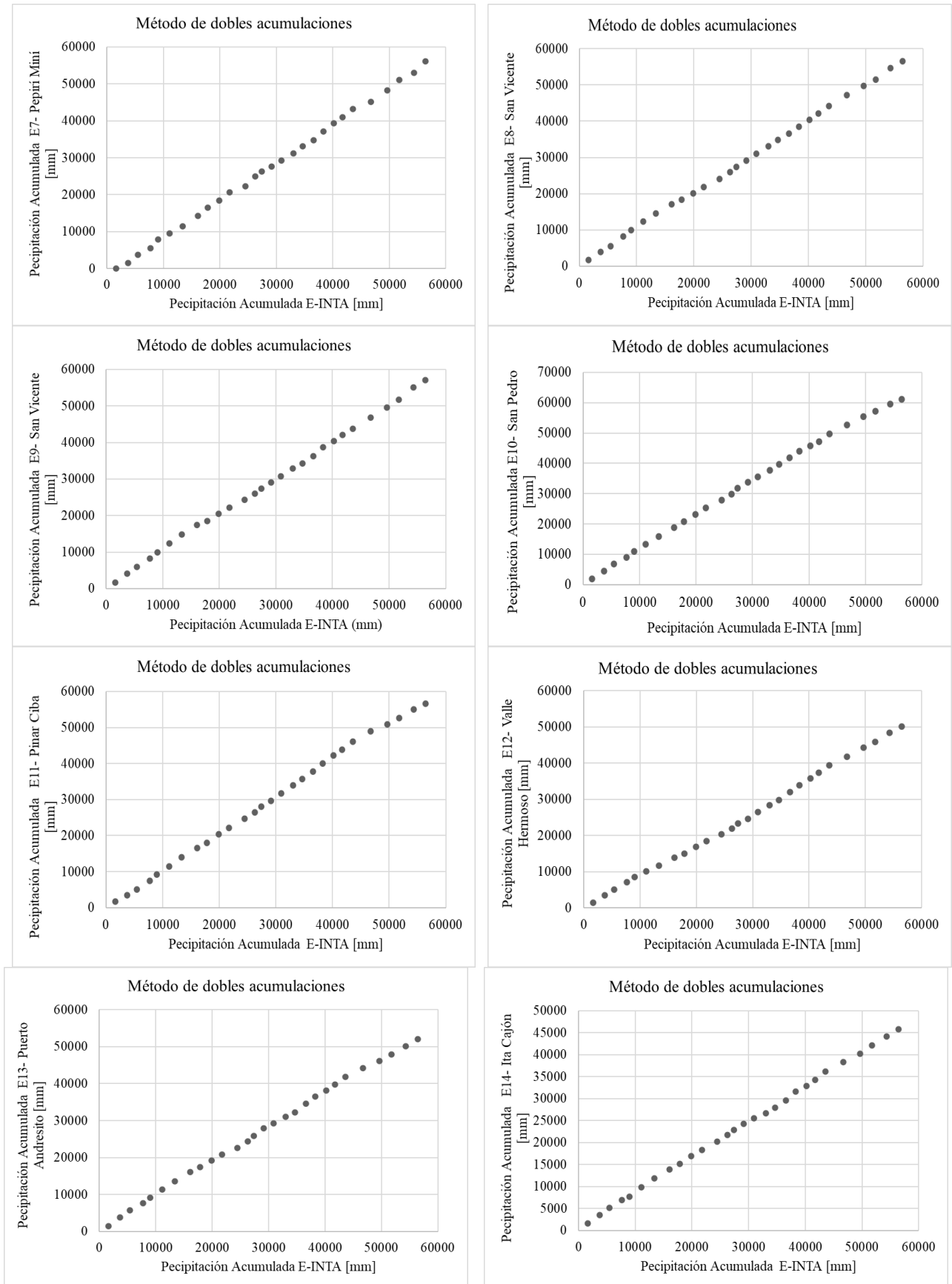


Fig. 4: Método de dobles acumulaciones (Continuación).

A continuación, se detallan los resultados del análisis estadístico realizados, en la Tabla 3, siguiendo la metodología descrita precedentemente, mediante un código en Fortran para los datos mensual, anual y estacional. En el cual, de enero a marzo, es verano; desde abril a junio, otoño; desde julio a septiembre, invierno; desde octubre a diciembre, primavera. Donde A=acepta, R=Rechaza (para los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia, en ese orden) y NS= No Significativo, el signo (-) y (+) indica si el salto es negativo o positivo.

**Tabla 3: Resumen del análisis estadístico.**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
<b>ESTACIÓN 1 (Puerto Concepción-Uruguay)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	A	R	R	R	R	A	R	R	R	R	A	A	A	A	R	A
	A	A	A	A	A	A	R	R	A	A	A	A	A	A	A	R	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-2,04	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	2,33	-2,68	NS	NS	NS	NS	-1,8	1,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Salto	2008 (+) 2000 (-)						2002 (-) 2000 (+)										
<b>ESTACIÓN 2 (San Javier-Uruguay)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	R	R	R	A	R	R	A	A	R	A	A	R	R	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Salto																	
<b>ESTACIÓN 3 (Colonia Mártires-Yabebiry)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	A	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-3,98	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3,99	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-4,25	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Salto										2000(-)							
<b>ESTACIÓN 4 (Campo Grande-Acaraguá)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	A	A	R	A	R	A	R	R	R	A	A	A	A	R	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3,99	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
TEST T STUDENT	7,63	-3,87	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	22,91	5,46	NS	11,59	NS	NS
Salto	2006(+)		2003(-)									2001(+)		2008(+)		2006(+)	
<b>ESTACIÓN 5 (Aristobulo del Valle-Torto)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	R	R	R	A	R	A	A	R	A	A	A	A	R	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	NS	NS	3,75	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	3,99	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	9,4	NS	NS	NS	NS	-3,98	-2,68	NS	NS	NS	-0,98	4,23	16,8	11,9	-6,28	NS	7,03
Salto	2007(+)					2002(-)		2002(-)				2000(-)		2008(+)		2008(+)	

**Tabla 3: Resumen del análisis estadístico (Continuación).**

<b>ESTACIÓN 6 (El Soberbio-Uruguay)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	A	A	R	R	A	A	R	A	R	A	R	A	A	A	R	R	
	A	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	4,53	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	-5,7	3,21	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Salto			2001(+)		2003(-)												
<b>ESTACIÓN 7 (Pepirí Mini-Uruguay)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	R	A	A	A	A	A	R	A	R	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	-5,4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	1,81	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	-6,69	NS	NS	NS	NS	-2,78	NS	NS	-3,76	NS	NS	NS	NS	NS	
Salto			2001(-)				2002(-)				2004(-)						
<b>ESTACIÓN 8 (San Vicente-Soberbio)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A	R	R	R	A	A	R	R	R	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
TEST T STUDENT	-2,75	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4,44	NS	NS	NS	NS	NS	12,35	
Salto	2001(-)								2001(+)						2008(+)		
<b>ESTACIÓN 9 (El Alcazar-Paranay)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	A	R	A	A	R	A	A	A	R	R	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	-2,73	NS	5,66	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	13,69	NS	7,17	NS	
Salto			2001(-)		2003(+)						2008(+)		2008(+)				
<b>ESTACIÓN 10 (San Pedro-Yabotí)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	A	R	R	R	A	A	A	A	A	R	A	A	A	A	A	
	A	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-5,18	NS	NS	NS	NS	-7,17	NS	NS	NS	-6,06	
Salto					2000(-)						2000(-)				2003(-)		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera

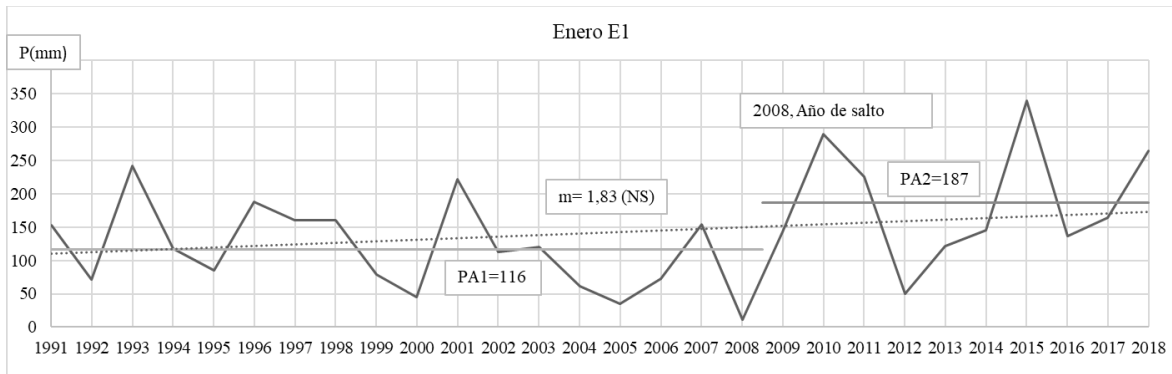
**Tabla 3: Resumen del análisis estadístico (Continuación).**

ESTACIÓN 11 (Pinar Ciba-Piray Guazú)																			
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A	R	R	R	R	A	A	R	A	A	R	A	A	A		
	A	A	R	A	A	A	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
TEST T STUDENT	NS	3,79	NS	NS	NS	-3,45	NS	NS	-3,82	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
Salto	2003(+)			2000(-)			2007(-)												
ESTACIÓN 12 (Valle Hermoso-Piray Mini)																			
Análisis exploratorio de datos	R	R	A	A	A	A	R	R	A	A	A			R	A	A	A	R	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	4,83	NS	NS	2,47	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,86	NS	NS	17,09	NS	NS	NS	NS	6,95
Salto	2008(+)		2006(+)						2005(+)			2008(+)			2001(+)				
ESTACIÓN 13 (Puerto Andresito-Iguazú)																			
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A	R	A	A	R	R	A	A	A	A	A		A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A		A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A		A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Salto																			
ESTACIÓN 14 (Itá Cajón-Paraná)																			
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	2,26	NS	-0,73	NS	NS	NS	NS	NS	2,01	3,17	4,6	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4,21	NS
Salto	2008(+)		2002(-)				2007(+)		2008(+)		2008(+)						2008(+)		

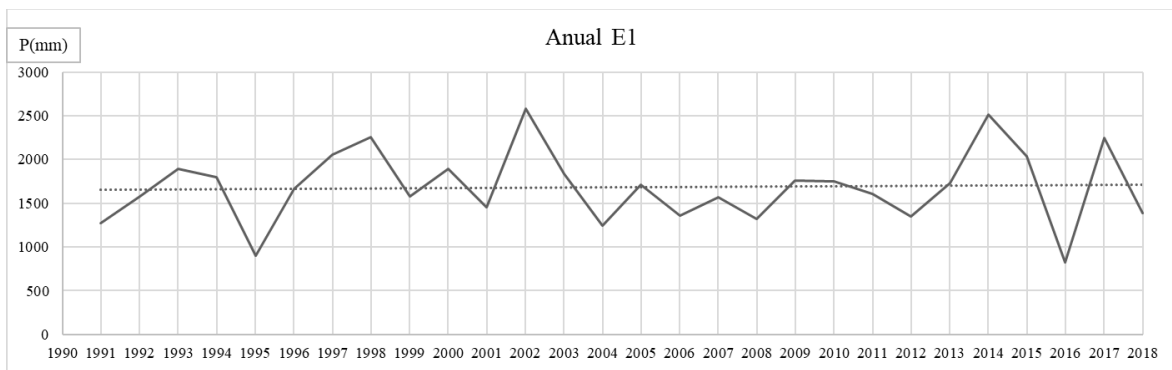
Los resultados del test de asimetría nos dan el criterio para rechazar o no la hipótesis nula de los datos provienen de una población distribuida normalmente. La hipótesis nula es que “No hay tendencia”. Por ende, cuando se acepta la hipótesis nula significa que la pendiente o tendencia es

estadísticamente igual a cero, es decir que no hay tendencias significativas. Para determinar si los datos no siguen una distribución normal se toma  $\alpha = 0.05$ , lo cual indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen una distribución normal.

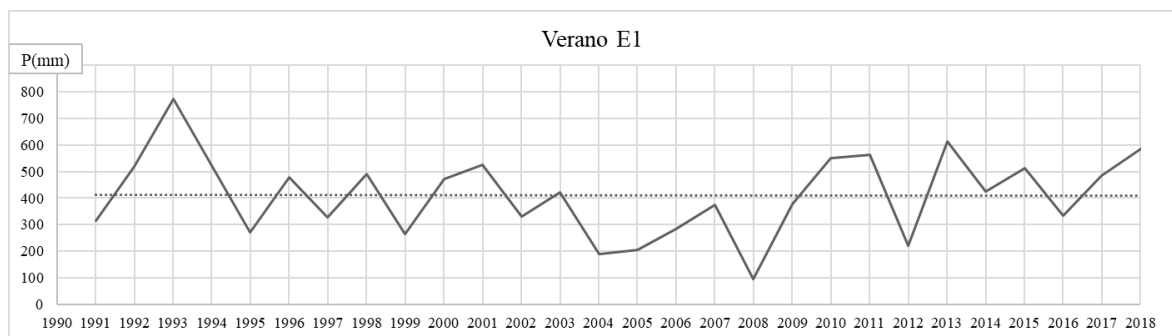
Los resultados obtenidos de los datos se interpretan mejor con ayuda de una representación gráfica. Por ello, a continuación, se detalla el análisis exploratorio de datos para la Estación 1: Puerto Concepción, donde para enero se rechaza (R) la prueba de normalidad, pero se Acepta (A) las de aleatoriedad e independencia.



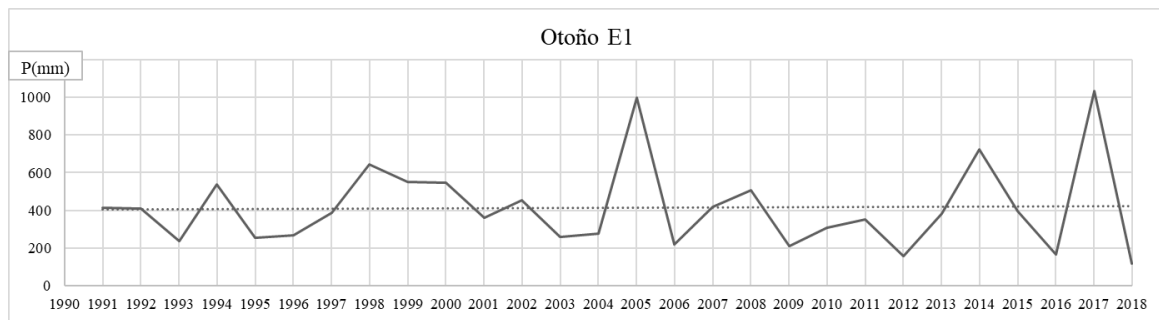
**Fig. 5: Salto E1.**



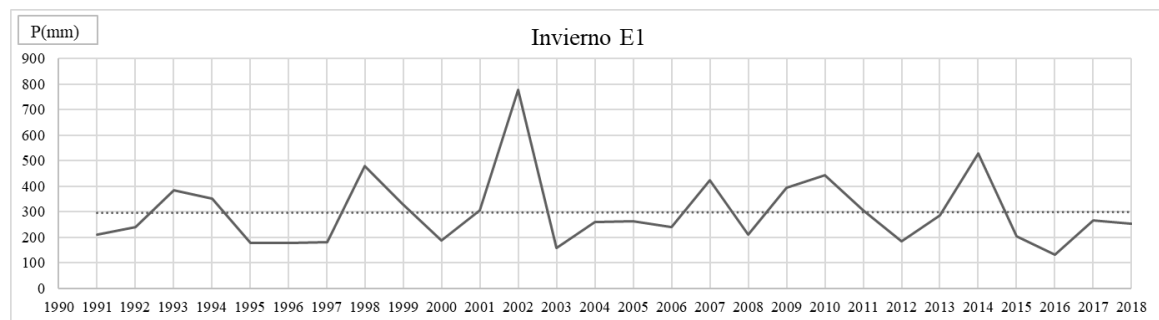
**Fig. 6: Precipitaciones anuales E1.**



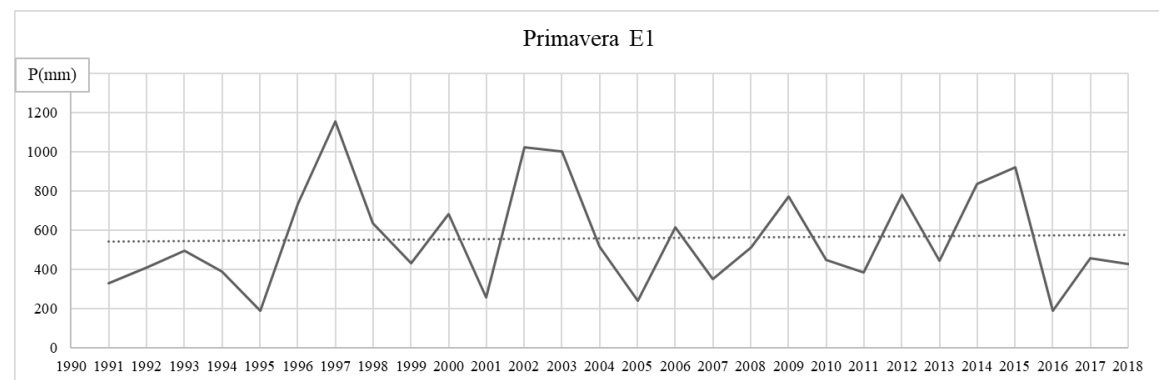
**Fig. 7: Precipitaciones de Verano E1.**



**Fig. 8: Precipitaciones de Otoño E1.**



**Fig. 9: Precipitaciones de Invierno E1.**



**Fig. 10: Precipitaciones de Primavera E1.**

Se observa con detalle para la E1: Puerto Concepción, en enero, febrero, julio y agosto hay cambios graduales. En julio y agosto no se cumple con el supuesto de aleatoriedad y en agosto además con el de normalidad, entonces hay una duda razonable y los datos son sospechosos, ya que el test de T de Student requiere de datos con distribución normal. En enero se observa una tendencia positiva, si bien es no significativa y presenta un salto positivo en el año 2008, donde la media mensual de precipitaciones pasa de 116 mm a 187 mm. Para los demás meses no se observan cambios graduales y/o abruptos, ni en el análisis estacional como tampoco en el anual. En las gráficas para las precipitaciones de verano, otoño, invierno, primavera y la de precipitaciones anual se puede observar que no hay tendencia significativa.

#### 4. Conclusiones

Al observar los módulos anuales de la serie analizada, se detecta un leve cambio gradual. Al someterla a diferentes test estadísticos, se concluye que el cambio no es significativo.



El 87% de los datos cumple con los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia. El supuesto de Normalidad cumple el 65%, Aleatoriedad el 95% e Independencia el 100% de los datos.

El 95 % de los datos no presentó tendencias significativas, el 3,4% presenta tendencias positivas y el 1,5% de los datos presenta tendencias negativas.

Con respecto a los saltos detectados en el análisis, el 58% son positivos, siendo el 42% de los saltos negativos. Se puede ver que, coincidiendo con un período de escasas lluvias que abarcó los meses de noviembre de 2004 hasta marzo de 2005, se detecta un salto negativo en el 2004 y uno positivo en el 2005 que corresponde al término de los escasos de lluvias.

Debido a que la mayoría de los datos cumplen con los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia, se puede aceptar, desde el punto de vista estadístico, que los cambios graduales presentados no son significativos.

La detección de puntos de cambio está asociada a la variabilidad climática natural. Se ha utilizado una prueba estadística que detecta un único punto de cambio. Se considera a futuro la utilización de alguna prueba de detección de múltiples puntos, para un análisis de mayor confiabilidad.

## Referencias

- [1] F. Silva, B. Eibl, E. Bobdilla, “Características de la Precipitación Durante 1981-2012 en Eldorado Misiones”, Revista Forestal Yvyrareta, vol 21, pp 36-42. 2014.
- [2] G. Prytz Nilson, A. G. Seufert, S. Ulrich, F. Schoninger, “Gestión de cuencas hidrográficas: Aplicaciones de SIG para mediciones pluviométricas”, en 9° Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra 2019. Facultad de ingeniería-UNaM, Oberá, Misiones.
- [3] Instituto Provincial de Estadística y Censos- Gobierno de la Provincia de Misiones, “Gran Atlas de Misiones”. 2015.
- [4] M. Dickie, A. Coronel, “Cambio climático, breve historia y tendencias en la Región Húmeda”, INTA EEA Oliveros, 2016.
- [5] H. Orsolini, E. Zimmermann, P. Basile, Hidrología, Procesos y Métodos. Editorial UNR. 2017.
- [6] C. Lauro, A. I. J. Vich, S. Moreiras, “Variabilidad del Régimen Fluvial en Cuencas de la Región de Cuyo”, GEOACTA, vol. 40, no. 2, pp. 28-51. 2016.
- [7] S. Figueras, P. Gargallo (2023, 05, 12). Análisis Exploratorio de Datos. [Online]. Available: <http://www.5campus.com/leccion/aed>
- [8] A. I. J. Vich, F. Bizzotto, E. Vaccarino, M. Correas, F. Manduca, “Tendencias y cambios abruptos en el escurrimiento de algunos ríos con nacientes en la cordillera y serranías del oeste argentino”, en Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes, Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, 2010, pp- 149-166.
- [9] A. Pardo, R. San Martín, Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud. Universidad Autónoma de Madrid. 2010.
- [10] A. Pobleto, J. Minetti, S. Escudero, “Cambios abruptos en los derrames anuales del río San Juan – Argentina asociados a fenómenos climáticos de la macroescala”, en XXIV Congreso Nacional del Agua 2013. San Juan, Argentina.