

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

TENDENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN NORESTE DE ARGENTINA

Silva, Fidelina¹ ; Olinuck, José²

RESUMEN –La provincia de Misiones se encuentra en la región subtropical húmeda de Argentina, para la cual los escenarios de cambio climático pronostican aumento gradual de las precipitaciones tanto en volumen como en intensidad. El objetivo del presente estudio fue evaluar las tendencias de las precipitaciones anuales, decadales y estacionales a partir de registros meteorológicos de estaciones de superficie convencionales y automáticas. Se incluyeron siete puntos de observación que representan las diferentes características climáticas de la provincia de Misiones, cuyos periodos comprendieron entre 35 y 92 años de registros continuos. Los resultados evidencian una tendencia marcada y creciente de las precipitaciones anuales a través de las décadas, siendo las últimas décadas las que presentaron los mayores volúmenes anuales. Agrupadas las estaciones del año por décadas, se encontraron diferencias significativas entre las medias decadales de la serie más larga perteneciente a la localidad de Montecarlo.

ABSTRACT-The province of Misiones is located in the humid subtropical region of Argentina, for which the climate change scenarios predict a gradual increase in rainfall volume and intensity. The objective of the present study was to evaluate the trends of annual, decadal and seasonal rainfall from conventional and automatic weather station`s meteorological records. Seven observation points representing the different climatic characteristics of the province of Misiones were included, which have the most extensive records published, being 35 years the shortest and 92 years the longest. The results show a marked and growing trend of the annual precipitations through the decades, being the last decades those showed the biggest annual volumes. Grouped the seasons of the year by decades, we found significant differences among the decadal means only in the longest precipitation period of Montecarlo town.

Palavras-Chave – subtrópico, precipitação, climatologia

1) Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo del INTA, Avda. Libertador 2472, (3382) Montecarlo Misiones Argentina, 543751-480512, silva.fidelina@inta.gob.ar

2) Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul del INTA, Ruta Nacional 14. Km. 836 (3313) Cerro Azul Misiones, Argentina, 540376- 449 4740, olinuck.jose@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La provincia de Misiones se encuentra en la región subtropical húmeda de Argentina, para la cual los escenarios de cambio climático pronostican aumento de las precipitaciones medias pero no importante ya que está dentro del error de estimación de los modelos utilizados (Barros *et al*, 2015). La planificación y el manejo de los recursos naturales requiere del conocimiento de la variabilidad de las precipitaciones tanto anuales como estacionales además de su tendencia. En una provincia como Misiones donde la erosión hídrica sobre los suelos tiene un gran impacto en los sistemas productivos agrícolas no es menor contar con información del comportamiento de las precipitaciones. Según Gaitán *et al*. (2017), la erosión hídrica para la región este, sudeste y sudoeste está en el rango de 5 a 30 tn/ha/año con un valor potencial mayor a 500 tn/ha/año.

No existen estudios comparativos de la precipitación a nivel local provincial, por lo cual este trabajo es un primer paso para evaluar el comportamiento de las precipitaciones principalmente desde la década de 1960. Con este propósito se incluyeron siete puntos de observación que representan las diferentes características climáticas de la provincia de Misiones, cuyas series meteorológicas comprendieron entre 35 y 92 años de registros continuos. El objetivo del presente estudio fue evaluar las tendencias de las precipitaciones anuales y estacionales a partir de registros meteorológicos de estaciones de superficie convencionales y automáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El clima de la provincia corresponde al tipo Cfa (según Köppen), con un régimen pluviométrico casi-isohigro. La provincia es cruzada por las Sierras Centrales que se extienden de noreste a suroeste, desde 800 a 200 msnm, respectivamente. La ocurrencia de las precipitaciones está asociada a esta diferencia en relieve, presentando el noreste una precipitación media anual de 2200 mm mientras que la zona sudoeste unos 1600 mm anuales (Gobierno de la Provincia de Misiones, 2015). Las lluvias en esta región son originadas principalmente por el ingreso de masas de aire cálido y húmedo desde el Océano Atlántico y también por las masas de aire frío y húmedo proveniente del sur de la Argentina (Murphy *et al*, 2011).

Los datos meteorológicos utilizados provienen del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Olinuck *et al.*, 2019; INTA, 2019), registrados en estaciones convencionales y estaciones automáticas de la red de INTA en Misiones. En la tabla 1 se incluyen los sitios de observación, su localización y el período de años incluidos en este trabajo.

Tabla 1- Sitios de observación meteorológicas en Misiones, Argentina

Estación y coordenadas	Departamento	Pertenencia	Período de años
Iguazú Aero (25°44'14"S 54°28'25"O)	Iguazú	SMN	1961-2017
Eldorado (26°25'02"S 54°37'12"O)	Eldorado	UNaM	1984-2018
Montecarlo (26°34'33 S 54°43'50" O)	Montecarlo	INTA	1927-2018
Bernardo de Irigoyen (26°16'41"S 53°40'17"O)	San Pedro	SMN-INTA	1985-2018
Cuartel Río Victoria (26°55'12"S 54°25'12"O)	San Vicente	INTA	1968-2014
Cerro Azul (27°39'23"S 55°26'13"O)	Leandro N. Alem	INTA	1960-2018
Posadas Aero (27°22'00"S 55°53'49"O)	Capital	SMN	1951-2018

En todos los casos para obtener los volúmenes anuales y estacionales se procesaron los datos diarios de precipitación. Una vez obtenidos los estadísticos descriptivos para cada serie de datos, los años fueron caracterizados en base al método de percentiles como: muy seco, seco, normal, húmedo y muy húmedo (Castillo y Castellví Sentis, 2001). Los análisis posteriores se hicieron agrupando los valores mensuales y los anuales en décadas como lo indican las normas de la OMM (2011).

El análisis de tendencia para las precipitaciones anuales se realizó en base a la prueba de Mann-Kendall junto al método no paramétrico Sen para estimar la magnitud de la tendencia (Salmi *et al.*, 2002), mientras que las series decádicas fueron analizadas a partir del método de regresión lineal evaluándose la tendencia a través del coeficiente de determinación (R^2).

Para el análisis de las tendencias estacionales de la precipitación se obtuvieron los totales para cada una de ellas a partir de los volúmenes mensuales, para luego obtener el promedio por década. Las medias decádicas fueron evaluadas a partir del análisis de variancia considerando dos fuentes de variación estación y década. La significancia estadística de los valores promedios fue evaluada a través del test de Tukey a un nivel de 5 %.

RESULTADOS

Los valores de los estimadores de Mann-Kendall y Sen resultaron todos positivos indicando que en todas las localidades estudiadas existe una tendencia creciente de las precipitaciones anuales (Figura 2). Sin embargo, según el índice Z de Mann-Kendall las tendencias fueron significativas al nivel del 5% para Iguazú (p-valor 0,018), Montecarlo (p-valor 0,005), Posadas (p-valor 0,038). La importancia del estimador de Q de Sen se evaluó en base al tamaño del intervalo de confianza siendo de 7,74; 9,62; 13,99; 15,59; 18,30; 31,52 y 34,36 para Montecarlo, Posadas, Cerro Azul, Iguazú, San Vicente, B. Irigoyen y Eldorado, respectivamente. Coincidiendo los intervalos más estrechos con

aquellas localidades que presentaron una tendencia creciente significativa y cuyas series temporales son las más extensas.

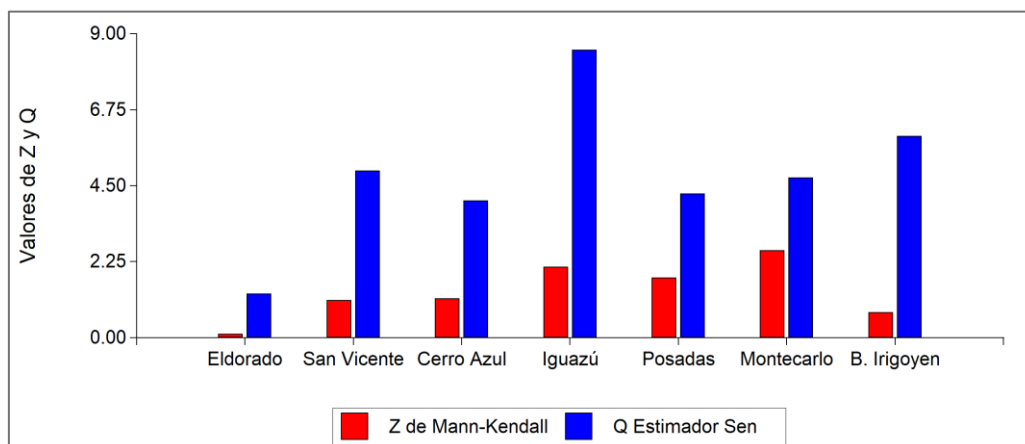


Figura 2 - Evolución temporal de la precipitación anual para las localidades de Montecarlo, Posadas e Iguazú de la provincia de Misiones, Argentina.

En la tabla 2 se presentan las funciones lineales que señalan las tendencias y los coeficientes de determinación asociados a esa relaciones. Estos resultados concuerdan en general con la tendencia positiva de las precipitaciones en la zona centro y nordeste de la Argentina estimada por Barros *et al.* (2013).

Tabla 2-Líneas de tendencia de las precipitaciones medias decádicas

Sitio	Línea de tendencia	R ²
Iguazú	$y = 48.385x + 1534.7$	0.40
Eldorado	$y = 87.635x + 1352.6$	0.55
Montecarlo	$y = 61.43x + 1563.9$	0.49
Bernardo de Irigoyen	$y = 180.56x + 805$	0.50
San Vicente	$y = 54.589x + 1831.7$	0.47
Cerro Azul	$y = 43.413x + 1724.6$	0.23
Posadas	$y = 51.665x + 1486$	0.54

Comparadas las medias estacionales por décadas se observan que no hay diferencias significativas entre los seis de los sitios observados (Tabla 3), destacándose sí, los mayores volúmenes en la última década en todas las localidades de Misiones. En los registros de Montecarlo se destaca la diferencia entre el promedio de la década 1950-1960 y las tres últimas de la serie de datos.

Tabla 3. Resultados de la comparación de medias decádicas y medias por estación del año agrupadas por décadas. Referencias: medias con una letra común no son significativamente diferentes al nivel del 5 %.

Década	Iguazú	Eldorado	Montecarlo	Irigoyen	San Vicente	Cerro Azul	Posadas
1930-40			447.8 ab				
1940-50			461.4 ab				
1950-60			354.3 b				439.3 a
1960-70	436.7 a		441.4 ab			454.1 a	400.3 a

1970-80	419.9 a		466.8 ab		528.3 a	475.6 a	399.8 a
1980-90	437.8 a	499.6 a	443.3 ab	479.8 a	522.5 a	533.3 a	469.3 a
1990-00	530.1 a	505.6 a	536.1 a	600.2 a	590.4 a	503.6 a	471.4 a
2000-10	474.9 a	483.0 a	497.9 a	529.6 a	528.6 a	467.5 a	453.5 a
2010-18	521.4 a	545.2 a	540.3 a	600.0 a	591.3 a	544.9 a	506.1 a
Estación							
Primavera	548.9 a	576.5 a	515.3 a	644.1 a	609.3 a	555.4 a	527.6 a
Verano	512.2 a	518.9 ab	484.2 a	608.4 a	542.9 a	536.4 a	475.9 a
Otoño	470.6 a	544.3 a	486.8 a	546.7 ab	573.7 a	516.9 a	456.6 a
Invierno	348.9 b	394.7 b	375.6 b	410.5 b	482.0 a	377.2 b	334.1 b

La cantidad promedio del total de lluvias de invierno aparece como significativamente menor al resto de las estaciones en 6 de los sitios estudiados (Tabla 3).

En la figura 3 se presentan las frecuencias relativas de los años clasificados en base a los percentiles como muy secos, secos, normales, húmedos y muy húmedos. Solo se presentan los resultados para las tres últimas décadas. Sumadas las frecuencias de años húmedos y muy húmedos, se observan que no incrementan a lo largo del tiempo. La década 2000-2010 se presenta como la más húmeda, siendo el 54 % de los años con características de húmedas o muy húmedas en el pool de datos de los siete sitios estudiados.

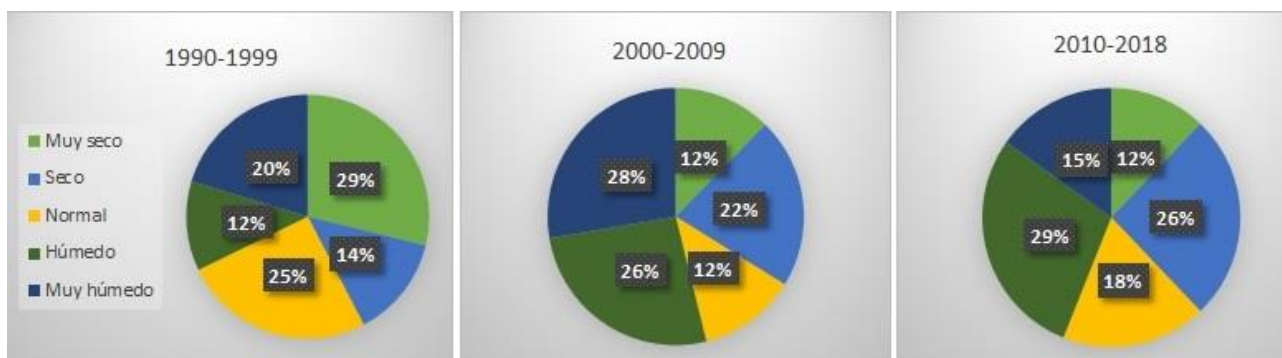


Figura 3 – Frecuencia relativa de años muy secos, secos, normales, húmedos y muy húmedos según percentiles 20, 40, 60 y 80.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de tendencias de las precipitaciones anuales muestran que hay un sostenido aumento de los volúmenes anuales en todos los puntos de observación en la provincia de Misiones.

Comparadas las lluvias estacionales entre décadas no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, como una característica climática de la provincia de Misiones, el invierno tiene un volumen menor de precipitación.

En la búsqueda de una tendencia hacia un periodo húmedo, no se encontraron evidencias de un aumento decadal, destándose la década 2000-2010 como más húmeda.

REFERENCIAS

Barros, V.R., Vera, C., Agosta, E., Araneo, D., Camilloni, I., Carril, A., Doyle, M., Frumento, O., Nuñez, M., Ortiz de Zárate, M. and Penalba, O. (2013). *Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Tercera Comunicacion de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Buenos Aires, Argentina: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 341 p.

Castillo, F. E. y Castelví Sentís, F.(2001). *Agrometeorología*. 2a ed. Madrid : Mundi Prensa, 517 p.

Gaitán, J., Navarro, M. F., Vuegen, L. T., Pizarro, M. J., Carfagno, P. & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. In Ed. INTA. Coleccion: Investigación, desarrollo e innovación.

Galeano, G. H. (1980). *Anales estadísticos agrometeorológicos de la localidad de Cerro Azul. Periodo 1967-1979. Informe técnico n° 28. INTA EEA Cerro Azul*.

Gobierno de la Provincia de Misiones (2015). *Gran atlas de Misiones*. Ministerio de Estado General y Coordinación de Gabinete. Instituto Provincial de Estadística y Censos, Posadas, Misiones, Argentina, 413 p.

INTA (2019). *Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (SIGA)* <http://siga.inta.gob.ar/>

Olinuck, J.; Cardozo, A.; Sicardi, H. (2019). *Boletines meteorológicos mensuales del Area Agrometeorología de EEA Cerro Azul de INTA, Centro Regional Misiones*.

OMM, Organización Meteorológica Mundial (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Serie Tiempo, Clima, Agua. OMM-N°100. Ginebra, Suiza, 28 p.

Salmi, T.; Määttä, A.; Anttila, P.; Ruoho-Airola, T.; Amnell, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates. The Excel template application MAKESENS. Ilmatieteen laitos. Meteorologiska Institutet .Finnish Meteorological Institute. 35 p.

AGRADECIMIENTOS – Al Señor Heine Müller, Roberto Bopps y Roberto Münz por brindar la información al INTA; al personal de campo de todas las estaciones meteorológicas del INTA en Misiones.