

Regionalización pluviométrica en la provincia de Santa Fe (Argentina)

Agostina Zucarelli¹, Marta Paris¹

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias Hídricas (FICH) – Universidad Nacional del Litoral (UNL).

E-mail: agostinazucarelli@gmail.com

RESUMEN: Los elevados costos de mantenimiento de las redes de medición y la falta de registros con longitud y distribución espacial considerable, condicionan en muchas ocasiones la confiabilidad de los resultados de modelos y algoritmos de cálculos empleados para predecir el comportamiento de los sistemas hidrológicos, el diseño de obras y otras medidas de gestión. Existe una necesidad de optimizar la red de mediciones existentes y definir regiones donde las características o régimen hidrológico sea homogéneo, de manera tal que sea posible realizar la transferencia de información de un sitio a otro dentro de una región. En este trabajo se muestran los resultados de la identificación de regiones pluviométricas homogéneas en la provincia de Santa Fe, a partir de los valores de precipitación mensual aplicando el análisis estadístico de agrupamiento. A partir de las regiones definidas, mediante el empleo de índices de confiabilidad propuestos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se clasifican las estaciones pluviométricas y se proponen medidas de optimización de la red de medición actual.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento cuantitativo de la precipitación se obtiene por mediciones permanentes a través de una red de observaciones. Muchas prácticas de ingeniería u otras disciplinas referidas a los recursos hídricos requieren un registro prolongado y consistente de datos de lluvia en una determinada región, pero a veces no se cuenta con estaciones en el propio lugar. Mediante la regionalización hidrológica es posible hacer uso de datos que sean representativos de las particularidades hidrológicas del lugar, a pesar de haber sido obtenidos en otro sitio. Para eso se utiliza el concepto de regionalización (Le Gouven et al., 1988), que es la discretización espacial que se realiza teniendo en cuenta algunas funciones, variables y parámetros que definen la respuesta hidrológica de la región.

En los últimos años el uso del análisis de agrupamiento en el campo de la Hidrología ha sido exitoso; muestra de ello son las aplicaciones que ha tenido en la regionalización de cuencas para el análisis de frecuencia de caudales máximos y mínimos, la estimación de tormentas de corta duración, la determinación de zonas ciclónicas y la determinación de regiones homogéneas de precipitación, entre otras (Heredia et al., 2012).

Como hipótesis de este trabajo se plantea que en la provincia de Santa Fe podrían diferenciarse regiones pluviométricas homogéneas. Para demostrarla se propone como objetivo aplicar el análisis de agrupamiento a los registros de precipitaciones mensuales medios disponibles para el período 2006-2014. Como objetivos específicos se desarrollan: a) determinar cuál es la alternativa de procesamiento que mejor permite esta identificación (coeficiente de similitud, tipo de ligamiento, valor de corte, etc.), b) establecer un criterio para

la selección y/o relleno de los registros que compondrán la matriz de datos para el procesamiento multivariado y c) definir nodos de la red de medición, para algunos departamentos de la provincia, que tengan representatividad en las regiones homogéneas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Provincia de Santa Fe se ubica en la región Centro-Este de la República Argentina. Limita al Este con las provincias de Entre Ríos y Corrientes, al Norte con Chaco, al Oeste con Santiago del Estero y Córdoba y al Sur con Buenos Aires (Figura 1). De acuerdo a las estadísticas agroclimáticas de la República Argentina para el periodo 1960-2011 elaboradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Bianchi et al., 2010), la Provincia de Santa Fe presenta valores de precipitaciones mensuales superiores a los 2 mm e inferiores a los 150 mm. Los meses con mayores precipitaciones son Enero con máximas de 125 mm, Febrero con un rango de variación entre 75 a 150 mm y Diciembre con valores superiores a 100 mm. A partir del mes de Abril se presenta una disminución de los valores que se extiende hasta el mes de Septiembre.

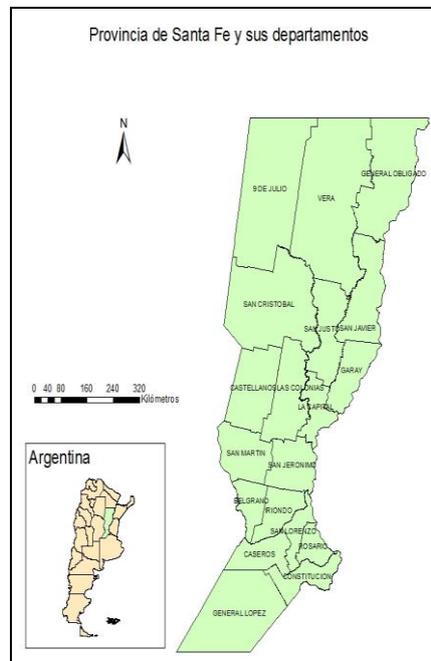


Figura 1.- Área de estudio. Provincia de Santa Fe.

METODOLOGIA

Los datos de precipitación que se emplearon en esta investigación son los publicados por la Dirección General de Comunicaciones de la Provincia de Santa Fe. Se trata de registros diarios que se encuentran disponibles en el portal oficial de la Dirección General de Comunicaciones de la Provincia (<https://www.santafe.gob.ar/regpluv/pluviometria/index.php>). La serie considerada abarca el periodo desde 1987 a 2014 en 426 estaciones distribuidas en los diversos departamentos de la provincia. Estos datos básicos fueron sistematizados en una plantilla de Excel © para generar tablas con precipitaciones mensuales. Las precipitaciones anuales fueron calculadas para el año calendario. Las estaciones pluviométricas se referenciaron espacialmente con el sistema Gauss-Krüger.

Los datos se dispusieron en un diagrama de Gantt para determinar el periodo de trabajo con mayor extensión de registros que abarquen un número significativo de estaciones de cada departamento provincial.

A efectos de contar con una caracterización de cada serie de precipitaciones mensuales, se calcularon los estadísticos, se evaluó su ajuste a la ley normal, se graficaron histogramas de frecuencias y box-plot.

Para la determinación de las regiones pluviométricas homogéneas se aplicó el análisis de agrupamiento por el método de Ward. Se generó para cada año la matriz de precipitaciones mensuales. Debido a la discontinuidad en las mediciones, cada año se analizó de manera particular adoptándose los siguientes criterios de eliminación y rellenamiento:

- No se contemplaron las estaciones con un porcentaje de datos faltantes mayor al 50%
- No se contemplaron los meses con un porcentaje de datos faltantes mayor al 40%
- Se rellenaron los valores de precipitaciones mensuales que no superaban los porcentajes antes mencionados en función de las estaciones próximas a cada dato faltante.

Una vez generadas las matrices para cada año se aplicó el análisis de agrupamiento para obtener las regiones pluviométricas homogéneas utilizando el programa Past V.3 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

Posteriormente se consideraron las estaciones del departamento La Capital para clasificarlas según índices de confiabilidad propuestos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el criterio propuesto por Zucarelli et al. (2012) para la clasificación de las estaciones en “excelente”, “buena”, “regular” e “insatisfactoria”, como muestra la Tabla 1, de acuerdo al número de años de observación (NAO) y al porcentaje de datos observados: relación entre los datos de la estación y los datos que deberían ser parte en la totalidad del periodo (PDO)

Tabla 1.- Límites establecidos para la clasificación para las series (Fuente: Zucarelli et al., 2012)

Clasificación de la serie	NAO	PDO
Excelente	30 – 40 años	80 – 100 %
Buena	20 – 30 años	60 – 80 %
Regular	10 – 20 años	40 – 60 %
Insatisfactoria	< 10 años	< 40 %

Esta evaluación tiene como finalidad ofrecer una información objetiva a los usuarios sobre la calidad de las estaciones (Zucarelli et al, 2012)

Para la evaluación de distribución espacial de la red pluviométrica fueron empleados los criterios de densidad provistos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1984, 1990). Dicho organismo define tres categorías:

- (i) regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales,
- (ii) regiones montañosas de estas mismas zonas y
- (iii) zonas áridas y polares.

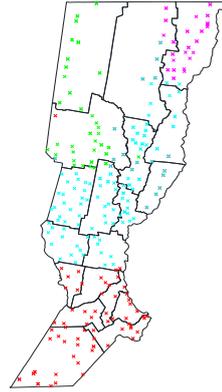
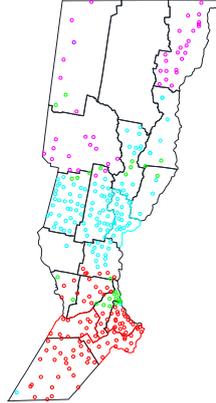
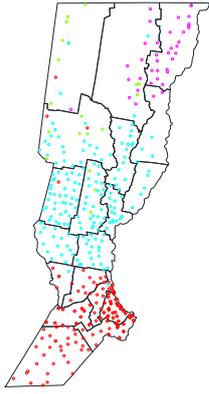
La provincia de Santa Fe pertenece a la región de tipo (i) donde se recomienda contar un número de 11 a 17 estaciones por cada 10.000 Km², o 1 estación por 600-900 Km².

RESULTADOS

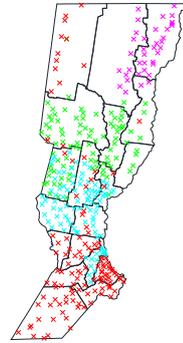
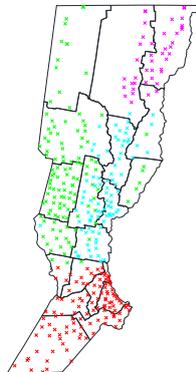
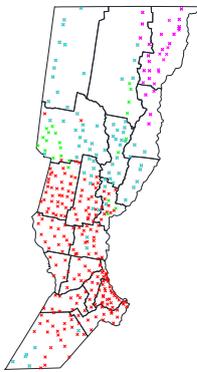
El análisis estadístico de las series permitió observar que los valores máximos se encuentran en diciembre y enero. Las precipitaciones mínimas se registran en los meses de abril y mayo. La mayoría de las series presentan un cierto grado de asimetría, en mayor medida hacia la derecha. Los diagramas de box-plot permiten detectar la presencia de valores extremos los cuales no se alejan demasiado de los percentiles de 10 y 90, por lo que no son considerados como valores anómalos.

En la Figura 2 se muestran los mapas con las regiones pluviométricas homogéneas realizadas con las precipitaciones mensuales de los años 2006 a 2014. Los mayores valores de precipitaciones corresponden al centro y sur del territorio provincial y los menores en el norte. En algunos casos la región central conforma una única región. Es importante destacar que si bien los años 2007 y 2009 presentan altos valores de precipitaciones en los meses de verano en el centro-norte del territorio provincial, la precipitación anual no se aleja respecto de la media del período considerado. Por ello los resultados obtenidos en la regionalización tampoco son diferentes respecto de los otros años. A modo de síntesis y de acuerdo al comportamiento de las precipitaciones mensuales, se distinguen en la provincia tres regiones: una ubicada al Noreste (R1- amarillo) con una precipitación anual media de 1100 mm, otra que abarca la porción central (R2 - rosado) con una precipitación anual media de 1500 mm y la restante cubre el sur del territorio provincial (R3- celeste) con valores medios de precipitaciones anuales de 1350 mm (Figura 3). Los departamentos 9 de Julio y Vera no han sido incluidos en estas regiones porque no se cuenta con datos suficientes. Los resultados presentados son concordantes con aportes de investigaciones antecedentes que indican que la precipitación anual disminuye de Este a Oeste desde los 1000 mm a los 750 mm, presentando mayor regularidad hacia el sur del territorio provincial (Zucarelli, et al., 2012).

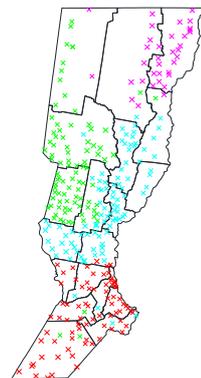
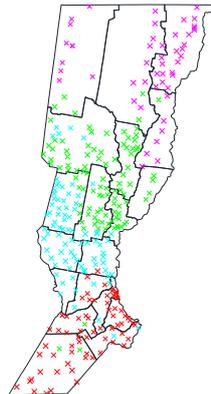
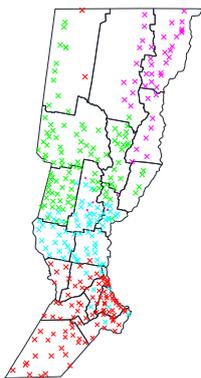
La aplicación de la metodología de la OMM y la propuesta por Zucarelli et al. (2012) permitió obtener la clasificación de estaciones del departamento La Capital que se presenta en la Tabla 2.



a: Regionalización año 2006 b: Regionalización año 2007 c: Regionalización año 2008



d: Regionalización año 2009 e: Regionalización año 2010 f: Regionalización año 2011



g: Regionalización año 2012 h: Regionalización año 2013 i: Regionalización año 2014

Figura 2.- Regionalización pluviométrica del territorio provincial

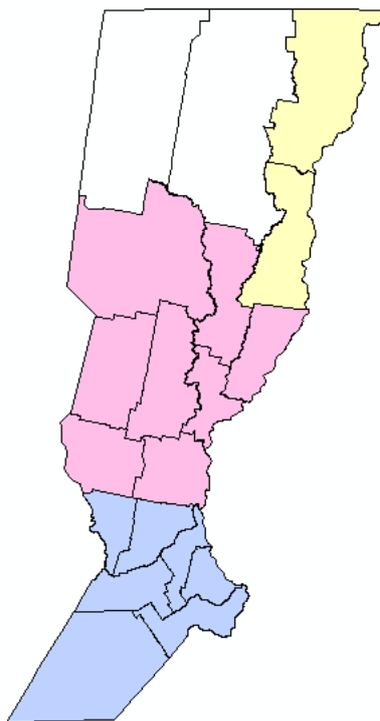


Figura 3.- Regionalización pluviométrica para la Provincia de Santa Fe

Tabla 2.- Clasificación de las estaciones vigentes del periodo 1988-2014 de la Dirección de Comunicaciones de la Provincia – Departamento La Capital

Ubicación Estación	NAO [años]	PDO [%]	Clasificación por NAO	Clasificación por PDO	Clasificación final
Santa Fe	23	85	Buena	Excelente	Excelente
Alto Verde	20	51	Buena	Regular	Buena
Arroyo Aguiar	19	48	Regular	Regular	Regular
Arroyo Leyes	10	14	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Campo Andino	11	18	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Candioti	15	33	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Emilia	13	25	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
La Guardia	13	25	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Laguna Paiva	13	25	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Ll. Campbell	13	25	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Monte Vera	13	25	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Nelson	13	25	Regular	Insatisfactoria	Insatisfactoria
Recreo	20	60	Buena	Buena	Buena
Rincón	17	51	Regular	Regular	Regular
Santo Tomé	21	82	Buena	Excelente	Excelente
Sauce Viejo	14	70	Regular	Buena	Buena

La superficie del departamento La Capital es de 3.055 km². Considerando que la provincia de Santa Fe pertenece a la región del tipo (i) expuesta en Metodología, se recomienda 1 estación cada 600-900 km² por lo que resulta de 3 a 5 la cantidad de estaciones óptima.

De acuerdo a la clasificación que se muestra en la Tabla 2, en el departamento La Capital hay 2 estaciones categorizadas como “Excelentes”, 3 como “Buenas”, 2 son “Regulares” y 9 “Insatisfactorias”. Considerando como confiables 5 estaciones (2 “Excelentes” + 3 “Buenas”), el departamento cuenta con una buena cobertura de registros, que permite tener una buena representación de los fenómenos hidrometeorológicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como hipótesis de este trabajo se plantea que en la provincia de Santa Fe podrían diferenciarse regiones pluviométricas homogéneas. Para demostrarla se propone como objetivo aplicar el análisis de agrupamiento a los registros de precipitaciones mensuales medios disponibles para el período 2006-2014. Como objetivos específicos se desarrollan

En este trabajo se muestra que las investigaciones realizadas han permitido verificar la hipótesis planteada y se han distinguido tres regiones pluviométricas homogéneas. El método de análisis de agrupamiento ha resultado útil en esta regionalización.

El análisis de la confiabilidad de los datos de la red de mediciones existentes en el departamento La Capital, ha puesto en evidencia que 9 de las 16 estaciones tienen un funcionamiento insatisfactorio, especialmente debido a que el NAO es menor a 10 años debido a que presentan discontinuidades en el período de registro y el porcentaje de datos observados (PDO) es inferior al 40%. Dos han sido clasificadas como Regulares porque tienen pocos años de registro pero a su vez, en los momentos de registro porque el PDO es menor a 40%. En ambas situaciones el NAO mejorará en la medida que las estaciones se mantengan activas con el correr de los años mientras que el porcentaje cuantificado por el PDO mejorará en tanto se realicen las mediciones sistemáticamente cada vez que llueva. Se recomienda realizar una inspección del instrumental y de las instalaciones de las estaciones como así también una revisión del protocolo con el cual se realizan las mediciones, encarar la capacitación de los responsables de las mediciones y, en última instancia, dar de baja a la estación y replantear la ubicación de la misma en algún sitio con escasos de datos.

De las tres estaciones categorizadas como “Buenas”, fundamentalmente en la Estación Alto Verde, se deberán instrumentar medidas para garantizar el registro de la lámina de agua caída en los eventos lluviosos. En estas estaciones y en las clasificadas como “Excelentes”, se deberá verificar que las mismas cumplan con los estándares exigidos por la OMM en cuanto a las características de las instalaciones como de los equipos empleados y la forma en la toma de datos y su registro.

Actualmente la metodología de clasificación expuesta para el departamento La Capital, se está extendiendo al resto y, de esta manera poder definir la red de mediciones óptimas para las tres regiones identificadas en el territorio provincial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bianchi, A. y Cravero, S. 2010. Atlas climático digital de la República Argentina descripción climática de mapas de temperatura media mensual y anual, precipitación anual, evapotranspiración potencial mensual y anual, balance hídrico directo anual, índice de aridez de De Martone. Boletín T Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Castro Heredia, L., Escobar Y., Ávila Díaz, A. 2012. Analisis Cluster como técnica de análisis exploratorio de registros multiples en datos meteorológicos. Revista EIDENAR: Ejemplar 11 / Enero - Diciembre 2012

Le Gouiven P., A Aleman M., Osorno I. 1988. Homogeneización y Regionalización pluviométrica por el método del vector regional. V Congreso Nacional de Hidráulica. Asociación Ecuatoriana de Hidraulica.http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010042845.pdf (Visitado en Enero 2014).

OMM N° 168 (1984), "Guía de Prácticas Hidrológicas. Volumen I – Adquisición y Proceso de Datos". Secretaría de la organización Meteorológica Mundial. Ginebra. Suiza.

OMM N° 100 (1990), "Guía de Prácticas Climatológicas". Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. Suiza.

Paris M. y Zucarelli G. V. 2004. Regionalización de caudales. Propuesta metodológica para la identificación de regiones homogéneas. Ingeniería hidráulica en México, Vol. XIX, Num 4: 5-19 pp.

Zucarelli, V. y Morresi, V. Red pluviométrica en la provincia de Santa Fe en el período 1956-1990. REVISTA DEL CURIHAM (Revista de Estudios sobre la Cuestión Hidroambiental) – UNR. ISSN: 1514-2906. Vol. 7. N° 1. Pp. 17 – 23.