

# ESTRUCTURA DE VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE PRECIPITACIONES EN LA PROVINCIA DE SANTA FE (ARGENTINA)

Agostina Zucarelli<sup>1</sup>

Becaria – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Ciudad Universitaria. Santa Fe, Argentina. Estudiante de Ingeniería en Recursos Hídricos.

[agostinazucarelli@gmail.com](mailto:agostinazucarelli@gmail.com)

Área temática: Ingenierías

Sub-área: Recursos Hídricos

---

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Usualmente la determinación de isohietas se realiza por interpolación lineal. Sin embargo la distribución espacial de las lluvias, pueden evidenciar tendencias y variaciones que no se ajusten a un modelo matemático lineal. Las incertidumbres asociadas a la variación espacial de la precipitación, constituyen unas de las principales fuentes de error en los análisis. Para obtener la distribución espacial de la precipitación se acostumbra a interpolar valores medidos en las estaciones situadas dentro o en las cercanías de la cuenca con los procedimientos comúnmente usados como Thiessen o Isohietas que son métodos determinísticos.

Las isohietas son isolíneas que unen puntos de igual precipitación en la unidad de tiempo considerada. El método usual para determinarlas es por interpolación lineal. Sin embargo las características de la distribución espacial de la precipitación, pueden contener tendencias que no se ajusten a un modelo de lineal (Tucci, 1997).

El kriging es una técnica de interpolación que se basa en el análisis de la estructura geoestadística de variación de la variable. Es decir se apoya en el conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio. Así, la forma del semivariograma obtenido, indica la capacidad de predicción que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto. Los datos más allá del alcance, es decir cuando el semivariograma se vuelve plano, tienen la mínima capacidad predictora y por ende no intervienen en la interpolación. Para la aplicación del kriging se debe suministrar los parámetros del semivariograma, el tipo de interpolación deseada (puntual o por bloques) y la estrategia adecuada para la selección de puntos para la interpolación (Samper Calvete, 1990).

Como hipótesis de trabajo se plantea que existe una estructura de variación espacio temporal de la precipitación mensual en la provincia de Santa Fe, que la misma no es necesariamente lineal y que puede ser analizada con métodos geoestadísticos.

El objetivo general apunta a utilizar kriging como metodología de interpolación a partir de la consideración de la precipitación como variable aleatoria regionalizada. Como objetivos específicos surgen: la obtención de un atlas de curvas isohietas, la evaluación de las incertidumbres en los datos y estimaciones, la formulación de recomendaciones para mejorar la confiabilidad de los registros.

## METODOLOGÍA

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).

---

<sup>1</sup> CAI+D 2012 PI 501 201101 00355: Protección de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea. Director: Paris Marta - Directora Beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas (CIN) -Universidad Nacional del Litoral – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Santa Fe – Argentina – [parismarta@gmail.com](mailto:parismarta@gmail.com)

Los datos de precipitación considerados para el procesamiento 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 (<http://www.santa-fe.gov.ar/gbrn/regpluv/index.htm>). La serie considerada abarca el periodo desde 1987 a la actualidad. Las mediciones se realizan en 426 estaciones distribuidas en todos los departamentos del estado provincial. Se trata de una base de datos considerablemente grande en términos espaciales, pero que presenta algunas inconsistencias. Las estaciones pluviométricas fueron georreferenciadas con coordenadas Gauss-Krüger.



**Figura 1:** Área de estudio: provincia de Santa Fe (República Argentina)

Se realizó el análisis de la estructura de variación espacial de cada serie determinando el variograma experimental. Se seleccionaron el tipo y partes de cada variograma (meseta, alcance y efecto pepita) y se estudió la presencia de anisotropías. Ello permitió obtener la expresión funcional geoestadística con la que se realizó la interpolación por kriging para la obtención de los mapas de curvas isohietas.

## RESULTADOS

Los valores máximos de precipitación se presentan en los meses diciembre y enero. El análisis de los histogramas de frecuencia y ajuste a la ley Normal, permiten observar que las series presentan un cierto grado de asimetría, en mayor medida hacia la derecha. Los valores medios de las series, junto con los mínimos y máximos, muestran la presencia de periodos húmedos y secos. Las series tienen valores extremos que se alejan notoriamente del valor medio. Este comportamiento se observa en mayor medida en los meses de verano.

Las metodologías se extendieron para las series de precipitaciones mensuales del periodo 2006 a 2014. En la Figura 2 se presenta el variograma omnidireccional para el mes de enero de 2006, a modo de ejemplo. La Tabla 1 presenta los parámetros

Los datos básicos fueron sistematizados en una plantilla de Excel © para generar tablas con precipitaciones mensuales. Para determinar el periodo de trabajo se dispusieron los datos según el diagrama de Gantt y se seleccionó el periodo que contara con mayor cantidad de estaciones con registros en los 12 meses del año. En particular se utilizó el período de 2006 a 2014.

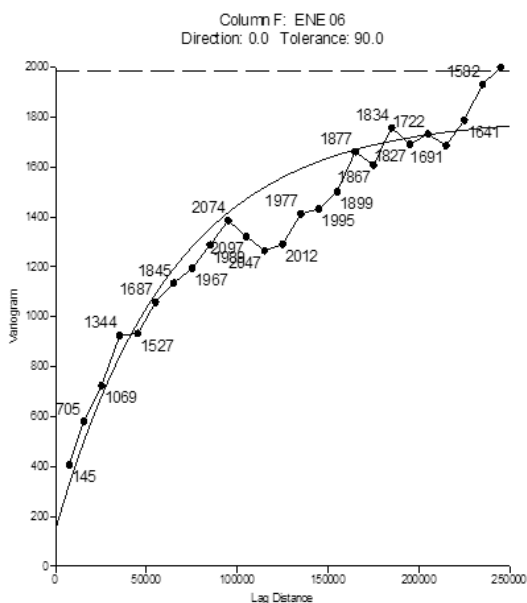
Se efectuó un análisis estadístico de cada serie, se calcularon los estadísticos, se efectuaron los correspondientes histogramas de frecuencia, se verificó el ajuste de la serie de precipitaciones a una distribución normal.

Para modelar las funciones teóricas que permitan obtener por interpolación las curvas isohietas de las precipitaciones mensuales, se

(meseta, alcance y efecto pepita) para los variogramas del tipo exponencial de los meses de enero para todos los años del período. Se observan valores similares en el alcance y la meseta, a excepción del año 2009 que presenta un valor de 430 (mayor al 50% de la varianza de la serie), lo que indicaría la presencia de errores en las mediciones o un importante grado de variabilidad.

Los variogramas responden a expresiones exponenciales para las series de precipitaciones mensuales.

Para cada serie se estudió la presencia de anisotropías considerando los variogramas direccionales para las cuatro direcciones preferenciales: E-O; N-S; NE-SE; NO-SE. En todos los casos la cantidad de pares de puntos con los cuales se realiza el cálculo del variograma experimental indica una buena estimación de esta función estadística. Del análisis se deduce que existe una tendencia en los registros pluviométricos en las direcciones SO-NE y N-S (incluso más notoria en los meses de noviembre y diciembre, que es en los que se presentan los mayores montos de precipitación).



**Figura 2:** Variograma omnidireccional. Enero de 2006

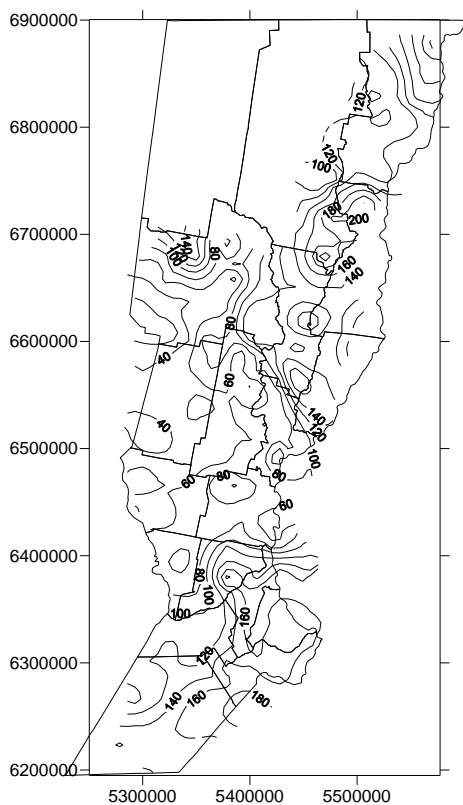
**Tabla 1:** Parámetros de los variogramas de enero

Parámetros	2006	2007	2008	2009	2010
Meseta	1650	3000	2000	430	2500
Alcance	65000	65000	40000	60000	70000
Efecto Pepita	150	1500	500	300	2000
Parámetros	2011	2012	2013	2014	
Meseta	2700	1100	2000	4400	
Alcance	70000	65000	70000	60000	
Efecto Pepita	1000	300	500	700	

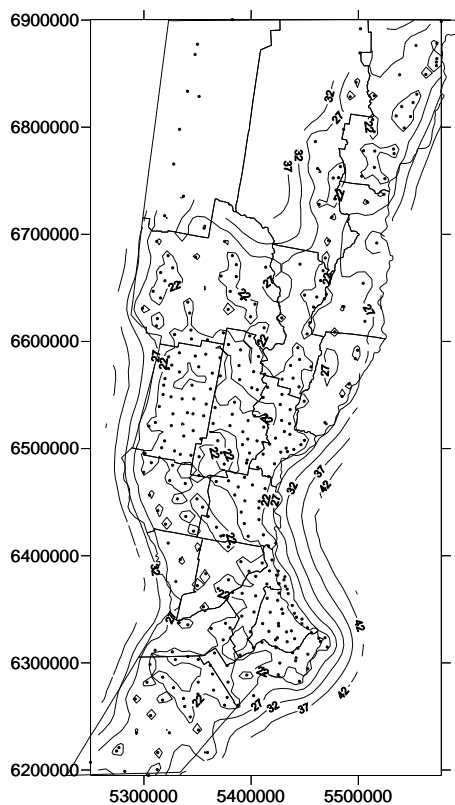
La interpolación, para la obtención de las curvas isohietas, se realizó por kriging adoptando como radio de búsqueda 2/3 del alcance de cada modelo. Teniendo en cuenta la densidad de información disponible y a los fines de contar con una cantidad adecuada de observaciones para la interpolación, se consideraron los variogramas omnidireccionales. Para este análisis se utilizó el programa Surfer versión 8.05 (Golden Software, Inc).

Los mapas de curvas isohietas de precipitaciones mensuales fueron analizados junto con los mapas de error de estimación para estudiar la confiabilidad de los registros.

En la Figura 3 se presenta el mapa de curvas isohietas para enero de 2006 (a) y el mapa de varianza del error de estimación (b) que muestra las áreas donde la interpolación realizada presenta mayores incertidumbres. La metodología se extendió para el resto de las series obteniéndose un atlas de mapas de curvas isohietas.



**Figura 3 a:** Mapa de curvas isohietas. Enero de 2006



**Figura 3 b:** Mapa de varianza del error de estimación. Enero de 2006

## CONCLUSIONES

Por medio de esta investigación se verificó la hipótesis de trabajo: existe una estructura de variación espacio temporal de la precipitación mensual en la provincia de Santa Fe, que la misma no es necesariamente lineal y que puede ser analizada con métodos geoestadísticos. Todas las series se han ajustado a variogramas exponenciales. Por lo tanto se concluye que para el trazado de las curvas isohietas la metodología de kriging representa una adecuada manera la variación de la variable que la interpolación lineal.

Los mapas del varianza del error de estimación por kriging permiten identificar las zonas donde debería densificarse la red de medición. Deberá considerarse para ello la instalación de nuevas estaciones de la misma red o la incorporación de registros de otras redes de medición, tal el caso de estaciones en provincias vecinas, para disminuir el error en los bordes del área de estudio. Se espera así mismo hacer una identificación de las estaciones de registro más confiables que cumplan con los estándares de la Organización Meteorológica Mundial para argumentar el diseño de una red de mediciones pluviométricas que optimice recursos manteniendo el relevamiento de la variación espacio-temporal de la lluvia en la Provincia de Santa Fe.

## REFERENCIAS

**Samper Calvete, F. J; Carrera Ramirez, J.** 1990. Geoestadística: Aplicaciones a la hidrología subterránea. Centro internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.

**Tucci, E.M.** - "Hidrología, Ciencia y Aplicación". Segunda Edición. Porto Alegre, 1997.