

## **ANALISIS GEOESTADISTICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS DE GRANIZO EN ARGENTINA**

**Romina Mezher – Pablo Mercuri**

Instituto de Clima y Agua

Centro de Investigaciones de Recursos Naturales (CIRN)

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Es importante el análisis de eventos meteorológicos extremos como lo son los casos de granizo, tanto para la agricultura como para las zonas urbanas. El objetivo de este trabajo fue estudiar mediante el uso de herramientas geoestadísticas diferentes representaciones espaciales de eventos de granizo en Argentina. Se realizaron mapas de promedios anuales de ocurrencia de los mismos con 86 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de todo el país en el período 1970-2008, utilizando los métodos de interpolación Kriging e Inversa de la Distancia. Para utilizar el método Kriging se analizó la correlación espacial de ocurrencia de granizo entre las estaciones meteorológicas mediante un semivariograma. En este caso se utilizó un modelo esférico para el ajuste de los promedios anuales y se observó que los valores altos de semivarianza son influidos por los datos extremos de las localidades de La Quiaca y Bernardo de Irigoyen los cuales se ubican en el percentil 90. El método Inversa de la Distancia (IDW) interpola los datos de una muestra dándole mayor peso a los valores que se ubican más cerca y menos a los lejanos. Por ende se considera que el peso de cada muestra es inversamente proporcional a la distancia desde el punto que está siendo estimado. Se utilizaron 10 vecinos para realizar la estimación y un valor de 2 para el parámetro  $p$ . Con el fin de analizar el resultado de la interpolación se observaron los errores cuadráticos medios obtenidos a partir de una validación cruzada. Se encontró que el error medio con el método Kriging fue levemente mayor que con el de IDW y ambos métodos sobreestiman los valores bajos y subestiman los valores extremos.

La elección del método de interpolación para representar espacialmente la distribución de los eventos de granizo es compleja. Con el método Kriging se obtuvieron mapas con un grado de suavizado apreciable, mientras que el método IDW presenta mayores gradientes para las estaciones con valores extremos. En este estudio preliminar se concluye que para caracterizar la ocurrencia de granizo a escala regional, el método Kriging genera una reducción de la variabilidad pero en general es el más adecuado para generar mapas que describen la distribución espacial de áreas con diferente cantidad de eventos. Sin embargo, se debe realizar un análisis más detallado en variables de ocurrencia aleatoria y puntual como lo es el granizo.

## **GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION ON HAIL EVENTS IN ARGENTINA**

Analysis of extreme meteorological events are important, like hail cases for agriculture and urban regions. The objective (aim) of this work was to investigate with geostatistics tools spatial representations of hail events in Argentina. Means maps of hail occurrence were made of 86 weather stations distributed along the country of 1970-2008 period, using Kriging and Inverse Distance Weighted interpolation methods. In order to use the Kriging method, we analyze spatial correlation of hail occurrence with a semivariogram. For the adjustment of the annual means, an spherical model was used and it was observed that high values of semivariance are influenced by extreme data of La Quiaca and Bernardo de Irigoyen which are located in 90 percentile. Inverse Distance Weighted (IDW) method interpolates values giving more weight to the values of closest stations and less to those that are farthest away. Hence it considered that each weight is inversely proportional to the distance of the point being estimated. Ten neighbors were used for the estimation and a value of 2 was used for parameter  $p$ .

To analyze the different models used for the interpolation the quadratic errors were obtained using cross validation. It was found that the mean error of Kriging method was a bit larger than IDW model and both overestimate extreme values.

The choice of an interpolation method for representing the spatially distribution of hail events is complex. Kriging method generates smoothing maps of hail events while IDW method turns out more gradients for extreme values stations. This preliminary study concludes that to characterize hail occurrence regions at regional scales, Kriging method generates a reduction in variability, but in general it generates better maps to describe the spatial distribution of areas with different amount of events. A more detailed analysis must be done of random and punctual variables as it is hail.

## Introducción

El granizo es un importante fenómeno a estudiar debido a que es un hidrometeoro de alta incidencia en áreas productivas y urbanas del país. Se ha estudiado el granizo en varios países como por ejemplo, China (Zhang y otros 2008), en Estados Unidos (Chagnon 2000), Francia (Vinet 2001), entre otros. En Argentina se han realizado algunos mapas con promedios anuales de frecuencia de granizo (Lassig 2006, Nuñez comunicación personal) pero no se ha estudiado la metodología para realizar dichos mapas.

El objetivo de este trabajo fue analizar cual es el método de interpolación que mejor caracteriza la ocurrencia de eventos de granizo en escala regional para poder analizar la distribución espacial y temporal del granizo en Argentina.

## Datos y Metodología

Los promedios anuales de eventos de granizo se calcularon a partir de los datos diarios de 86 estaciones meteorológicas provistas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Las mismas están distribuidas a lo largo de todo el país (Fig. 1) y se utilizó el período 1970-2008 para el estudio. Estos promedios fueron analizados e interpolados con la herramienta de análisis geoestadístico del programa ArcGis (ESRI 2007). Se utilizaron los métodos de interpolación Inversa de la Distancia (IDW) y Kriging.

El método Kriging es estocástico, se requieren herramientas estadísticas para su aplicación y previamente, conocimiento sobre el semivariograma o la covarianza espacial. En este trabajo se utilizó Ordinary Kriging el cual asume que las estimaciones son combinaciones lineales de los datos, trata que los errores sean lo más cercanos a cero y busca minimizar la varianza de esos errores. En cambio el método Inversa de la Distancia es determinístico y le impone mayor peso a la muestra más cercana y menor a la más lejana. Por lo tanto el peso de cada muestra es inversamente proporcional a la distancia del punto que esta siendo estimado (Isaaks y Srivastava 1989).

Para analizar la correlación espacial entre las estaciones se utilizó un semivariograma, que explica la relación entre los datos en función de la distancia. La semivarianza se define como

$$\gamma_h = \sum_i^{n-h} \frac{(x_i - x_{i+h})^2}{2n} \quad (1)$$

Aquí,  $x_i$  es una medida de una variable  $X$  en el punto  $i$  y  $x_{i+h}$  es otra medida de la variable tomada luego de  $h$  intervalos. Por ende se está encontrando la suma de diferencias cuadradas entre pares de puntos separados por una distancia  $\Delta h$ . El número de puntos es  $n$ , por lo tanto el número de comparaciones entre pares de puntos es  $n-h$ . Para  $h=1$ , la semivarianza se calcula comparando cada uno de los valores con los de su vecino. Para  $h=2$ , cada punto se compara con otro ubicado a dos espacios de distancia y sucesivamente para valores más grandes de  $h$  (Davis 2002).

Como el semivariograma solo se conoce en puntos discretos a ciertas distancias se lo debe modelar con una función continua. Se utilizó el modelo esférico para realizar este ajuste.

Se analizaron las tendencias espaciales que puede tener la variable a estudiar ya que el método Kriging requiere una previa investigación sobre las mismas.

Para estimar el grado de exactitud de la interpolación se analizó el error medio y cuadrático medio del método Kriging a través de la realización de una correlación cruzada como así también una verificación de los datos interpolados contra los observados en forma puntual en cada localidad.

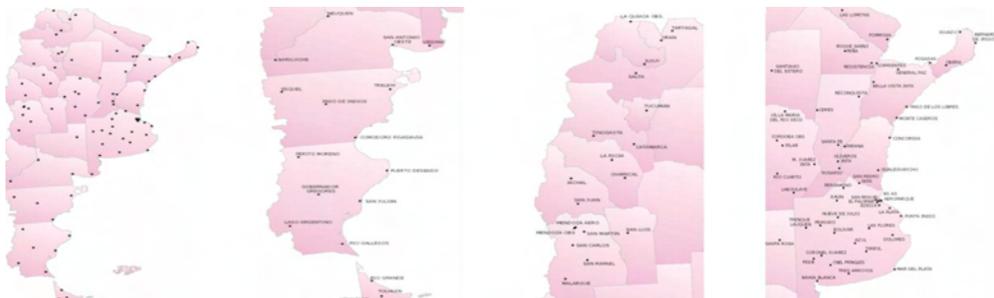


Fig.1. Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis.

## Resultados y Discusión

Para realizar la interpolación con el método Kriging se analizó previamente la semivarianza por medio del semivariograma. En la Figura 2 se observa el semivariograma de los promedios anuales de eventos de granizo.

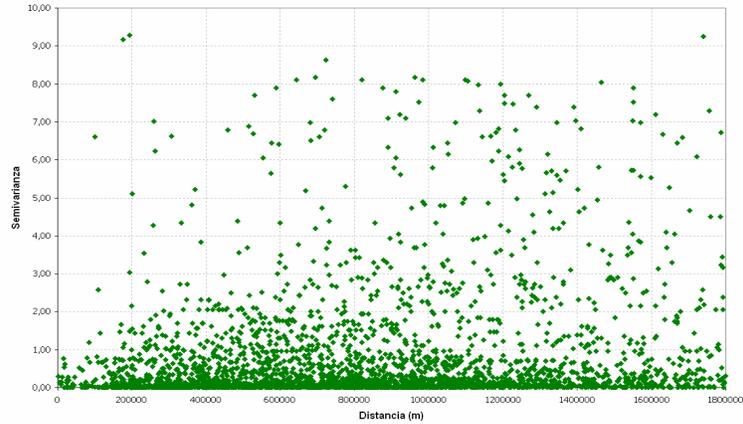


Fig.2. Semivariograma experimental de promedios anuales de eventos de granizo

Se observan claramente valores altos de semivarianza a distancias cortas (menores a 400km) que se deben a los datos extremos de Bernardo de Irigoyen y La Quiaca los cuales poseen un valor medio de 4,6 y 4,3 eventos por año respectivamente. Estos promedios se ubican en el último percentil de la serie de datos (Fig.3) denotando de este modo su denominación de valores extremos.

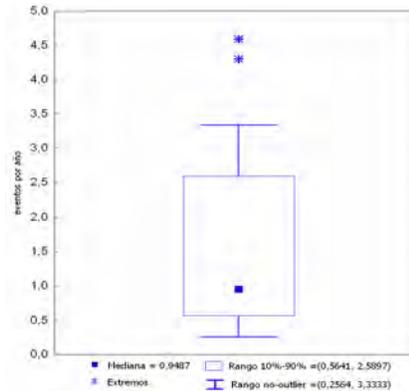


Fig.3. Boxplot de promedio de promedios anuales de eventos de granizo.

Para realizar el semivariograma teórico se utilizaron 12 intervalos (lags) de 150km. En la Figura 4 se observa el ajuste realizado mediante una función esférica. Nuevamente los valores extremos quedan fuera del ajuste con valores de semivarianza mayor a 1.

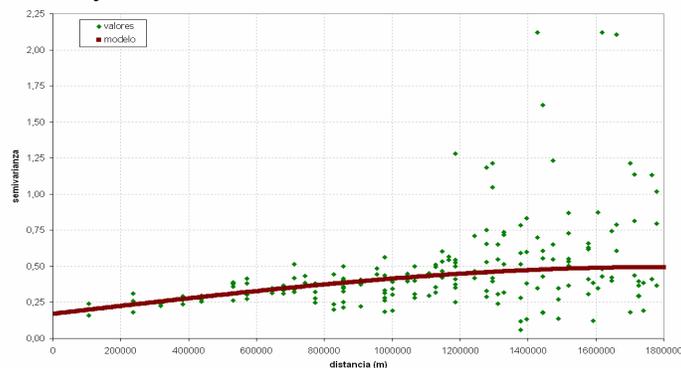


Fig.4. Semivariograma teórico con un ajuste esférico

La Figura 5 muestra como son las tendencias de la muestra de promedios anuales. Se observa que claramente hay una tendencia positiva desde el Oeste hacia el Este y desde el Sur hacia el Norte. Los valores mayores de eventos de granizo por año se ubican sobre Mendoza y sobre la costa Patagónica y son lo que están marcando estas tendencias. Cuando se realizó la interpolación se removió esta tendencia por medio de un polinomio de orden 2.

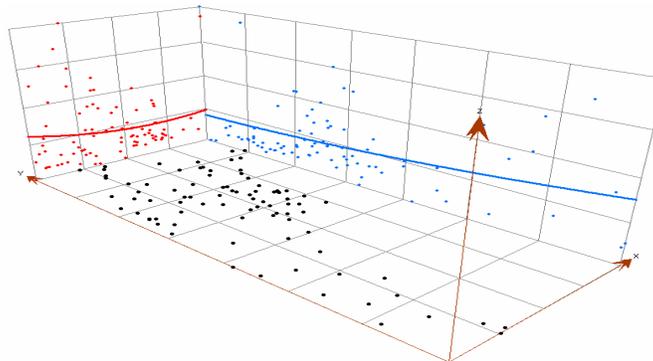


Fig.5. Tendencias espaciales de los promedios de eventos de granizo sobre Argentina.

Cuando se analizó la calidad del ajuste se encontró que el método Kriging sobreestima los valores bajos, menores a 1,5 eventos por año aproximadamente y claramente subestima los valores más altos, mayores a 1,5 eventos por año (Fig.6). Especialmente se puede ver que los promedios que sufren un mayor desajuste son los valores extremos de Bernardo de Irigoyen y La Quiaca. Por definición de la metodología, Inversa a la Distancia generará en los puntos observados valores similares.

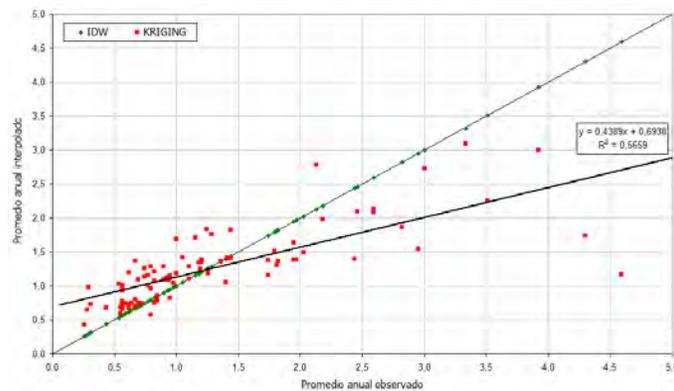


Fig.6. Resultado de la verificación del ajuste para el método Ordinary Kriging e Inversa de la distancia.

La correlación cruzada realizada para el método Kriging mostró los errores que se observan en la tabla 1. El error medio es cercano a cero y el error cuadrático medio estandarizado es cercano a 2.

Errores	Valores
Medio	-0,0246
Cuadrático Medio	0,9193
Estándar promedio	1,012
Medio estandarizado	-0,2113
Cuadrático medio estandarizado	1,865

Tabla 1. Errores obtenidos a partir de la correlación cruzada.

Los mapas de los promedios anuales de granizo se muestran en la Figura 6. Kriging genera un resultado mas suavizado de la variable en estudio. El método Inversa de la Distancia tiende a generar el efecto cluster u ojos de buey en especial cuando los valores son altos respecto a los vecinos más cercanos, efecto que Kriging tiende a mitigar. Las mayores diferencias se observan sobre la provincia de Buenos Aires donde la variabilidad espacial es mayor, por ende IDW mantiene los mínimos de las estaciones Coronel Suárez y Pigue en el Sudoeste y los máximos de Tres Arroyos y Pergamino en el Sur y en el Norte respectivamente,

mientras que el método Kriging observa levemente el mínimo sobre Coronel Suárez y genera una zona de mayor frecuencia anual sobre el Norte pero completamente suavizada. Los valores extremos discutidos anteriormente de La Quiaca y Bernardo de Irigoyen no se ven con el método Kriging en absoluto. En el resto del país la variabilidad espacial es menor por lo que ambos métodos son eficaces en resolver la escala regional.

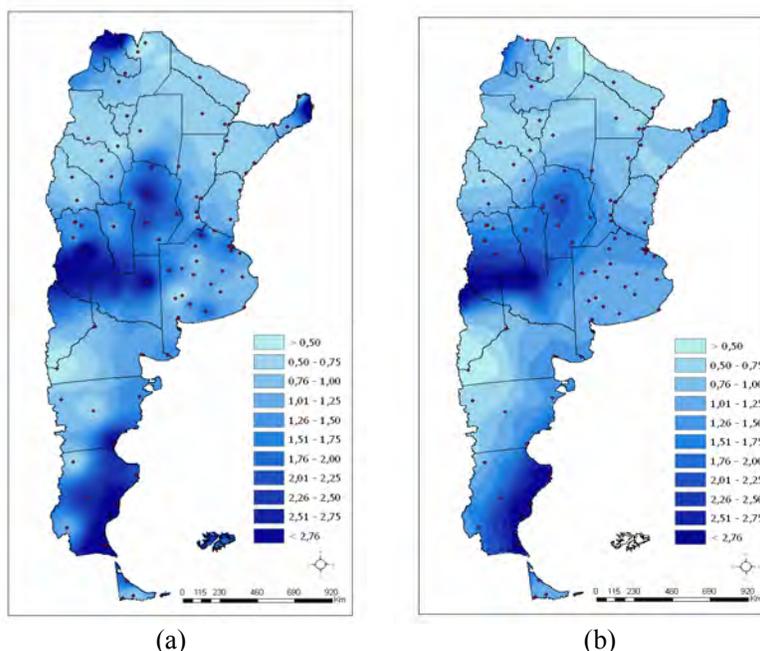


Fig.6. Promedio anual de eventos de granizo. (a) Método Inversa de la Distancia, (b) Método Kriging

Dado el escaso número de estaciones con distribución irregular y el ruido de la aleatoriedad del granizo, IDW estaría representando mejor esta variabilidad puntual que presenta este tipo de variables. Pero con el fin de estudiar de forma correcta la variabilidad regional el método Kriging es el más acertado en ese caso.

La observación detallada del mapa resultante del método kriging comparado con los valores medios y suma total de las series de datos históricos de frecuencia consideradas para este estudio permite ver que están sujetas a la alta aleatoriedad de la ocurrencia del granizo.

Por lo tanto es válido a una escala regional el uso del interpolador Kriging dado que al proveer información espacialmente suavizada y gradual puede ser utilizado para estimar tendencias geográficas relativas al riesgo de ocurrencia.

### Referencias bibliográficas

Isaaks, E. y Srivastava R., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, Oxford pp 257.

Davis, J., 2002. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons. pp 254.  
Chagnon S. and Chagnon D., 2000. Long-Term Fluctuations in Hail Incidences in the United States. *J. Climate*, 13: 658-664.

ESRI. ArcGIS 9.2, 2007. www.esri.com

Lassig J. Precipitaciones de granizo en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, su influencia en la fruticultura regional. Buenos Aires, 2006, 172 p. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Vinet, F., 2001. Climatology of hail in France. *Atmos. Res.*, 56: 309-323.