

APLICACIÓN DE UN MODELO DE CORRELACIÓN ESPACIAL DEL CAMPO DE PRECIPITACIÓN EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES AL DISEÑO DE REDES PLUVIOMÉTRICAS

Daniel F. Barrera y Adriana B. Basualdo

Departamento de Ciencias de la Atmósfera (FCEyN - UBA)
Email: barrera@at.fcen.uba.ar

SUMMARY

A method of raingage network design, based on structural characteristics of rainfall fields, was developed. The method was applied to rainfall in the Province of Buenos Aires, obtaining the optimum shape of an ideal network, and showing how to 'fill' an existent network in the optimum way.

Key Words: raingage network, design, optimum shape

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de una red pluviométrica regional es reducir la incerteza en la determinación del campo de precipitación y del valor de la lluvia caída en una localidad en la cual esta variable debe ser estimada a partir de observaciones en otras localidades. Dicho objetivo debe lograrse minimizando la erogación económica implicada.

En general, el costo de instalación, mantenimiento y operación aumenta en forma directamente proporcional a la cantidad de estaciones pluviométricas que conforman la red. Por otra parte, la densidad espacial de la misma está condicionada por la gran variabilidad espacial que presenta la precipitación, la cual se evidencia en la complejidad de las isohietas de tormentas observadas en ciertas áreas. Esta variación espacial en la intensidad de la precipitación depende de la estructura y evolución del campo nuboso, el cual a su vez resulta de procesos físicos en diversas escalas espacio-temporales del movimiento atmosférico.

Además, es posible observar que la distribución espacial de la precipitación se vuelve más simple cuando el lapso de integración (o acumulación) considerado

aumenta. Así, la variabilidad espacial de la precipitación acumulada mensual es menor que la de la precipitación acumulada en diez días. Con lapsos menores el aumento de la variabilidad es muy grande y, por lo tanto, el nivel de aproximación en la interpolación será insuficiente a menos que la distancia entre las estaciones sea suficientemente pequeña.

En general, como ya fue mostrado por otros autores, la densidad de las redes pluviométricas convencionales existentes es inadecuada para el análisis de la distribución espacial de la precipitación acumulada en períodos menores que un mes.

Una base para determinar con qué aproximación se estima la cantidad de lluvia caída en un sitio, puede ser provista por los coeficientes de correlación de la precipitación entre dicho sitio y las estaciones de la red a partir de las cuales la cantidad de lluvia es estimada. Utilizando este criterio, es necesario entonces conocer el campo de correlación espacial de la precipitación, y establecer luego niveles aceptables de coeficientes de correlación para este parámetro (WMO, 1972; Thébaux y Pedder, 1987).

La determinación del nivel aceptable de aproximación dependerá en cada caso

particular del uso que se le da a los datos (planeamiento, manejo del recurso hídrico, investigación). Contrariamente, la estructura del campo de correlación y la determinación de la función matemática que mejor la representa, no pueden ser establecidas por el usuario arbitrariamente, sino que son el resultado del análisis de la variabilidad espacial del campo en un área en particular, para un lapso dado de integración de la variable.

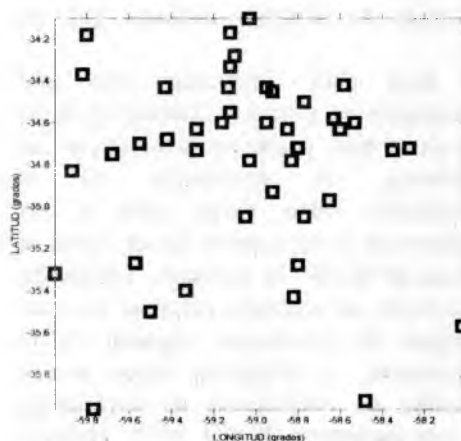
A este respecto, debe tenerse en cuenta el tipo de estaciones que conformarán la red, ya que dos regiones distintas pueden tener diferentes relaciones entre aproximación de la estimación y densidad de la red. Por otro lado, la calidad de los datos que la red es capaz de generar, la cual es función principalmente del error asociado al sistema de medición (Sevruc, 1982), influye grandemente en la bondad de las estimaciones en localidades sin observaciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología adoptada en este caso particular puede aplicarse a otras regiones y a otras variables meteorológicas.

2.1 DATOS UTILIZADOS

FIGURA 1
43 PUESTOS PLUVIOMÉTRICOS



El presente trabajo se realizó a partir de series de datos pluviométricos diarios

correspondientes a los meses de junio, julio y agosto de los años 1962 a 1975.

Los datos pertenecen a 43 estaciones pluviométricas del Servicio Meteorológico Nacional dentro de un área que abarca desde -36° hasta -34° de latitud y desde -60° hasta -58° de longitud. Fue seleccionada esta ventana de trabajo por poseer la mayor densidad de estaciones meteorológicas y puestos pluviométricos. El período es el que corresponde a series de datos completos en las 43 estaciones.

2.2 ESTRUCTURA ESPACIAL DE LOS SISTEMAS PRECIPITANTES DE MESOESCALA

Por medio de observaciones realizadas en los últimos años con radares meteorológicos en regiones extra-tropicales, se ha podido observar que aunque la precipitación ocurre con gran variedad de formas y tamaños areales, existe una organización temporal y espacial de las tormentas. Las observaciones hechas muestran la existencia de sistemas de mesoescala que imponen arreglos sistemáticos relativamente rígidos de celdas de tormenta agrupadas y localizadas en ciertas áreas, con configuraciones que dependen del tipo de sistema precipitante (Houze, 1993). El mismo produce un cierto patrón de relaciones entre los valores observados de lluvia en los puntos de una región dada. Este vínculo entre los valores observados puede ser cuantificado por medio de la correlación espacial entre pares de puntos de medición (Huff y Shipp, 1969).

Los campos de correlación de la precipitación asociados a sistemas precipitantes particulares muestran características diferenciales (Huff y Shipp, 1969, Sharon, 1974).

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO DE CORRELACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

En la pampa húmeda argentina, las celdas convectivas que se desarrollan en una tormenta presentan los patrones espaciales

observados en el hemisferio norte en latitudes similares. Esto ha sido puesto en evidencia por las observaciones hechas de numerosas tormentas con el radar meteorológico que el Servicio Meteorológico Nacional y la Universidad de Buenos Aires poseen en la localidad de Ezeiza (Di Lorenzo, 1993). No obstante, al tomar un período de tiempo que cubra un número grande de tormentas, se observa que las celdas de tormenta ocurren con igual frecuencia en cualquier punto. Podemos entonces asumir la hipótesis de que el campo de precipitación acumulada durante una tormenta en la zona "barrida" por una banda de precipitación es generado por un proceso estocástico espacial. La relación entre totales caídos en dos localidades tiene por lo tanto una distribución de probabilidad asociada.

Barrera (1994) estudió los campos de correlación de la precipitación en Entre Ríos para diferentes lapsos de integración en las cuatro estaciones climáticas. Encontró formas básicas anisótropas (diferentes para cada dirección) con diferente excentricidad y orientación para cada estación climática. Para la zona de estudio de este trabajo se encontraron patrones básicos similares.

Ya que el coeficiente de correlación entre dos estaciones sigue un patrón determinado de disminución con el aumento de la distancia entre dos estaciones, es posible pensar en una función paramétrica que represente este comportamiento.

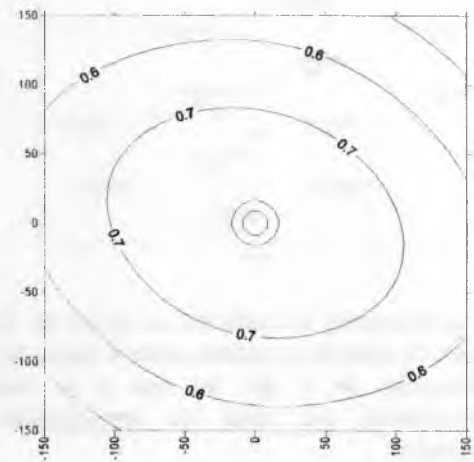
Thiébaux (1976) propuso varias funciones paramétricas de correlación versus separación entre estaciones. Considerando un proceso generador estocástico autorregresivo bidimensional y anisótropo, obtuvo campos de correlación teóricos cuyas isóneas se asemejan a elipses.

2.4 OBTENCIÓN DE UNA FUNCIÓN PARAMÉTRICA PARA EL CAMPO DE CORRELACIÓN

Se confeccionaron diagramas de dispersión para distintos períodos de acumulación de precipitación (1 día, 5 días, 10 días, 30 días) y determinaron funciones paramétricas

$z=f(x,y)$ que se ajustan a los puntos de cada diagrama de dispersión $(x,y,corr(p_a,p_b))$.

FIGURA 2
CAMPO DE CORRELACIÓN
PARA PRECIPITACIÓN ACUMULADA
EN 30 DÍAS



Se obtuvieron así modelos de campos de correlación espacial teóricos, cuyas isóneas se asemejan a elipses. Se compararon los modelos de correlación propuestos por Thiébaux (1976) con una función polinómica inversa, resultando ésta la que mejor se ajustó al diagrama de dispersión (FIGURA 2).

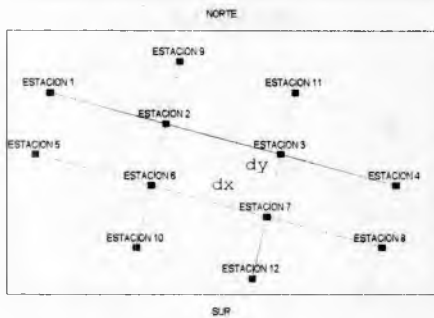
En esta figura, si se coloca en el centro del campo la localidad sin medición podrá verse que la lluvia caída en ésta estará más correlacionada con la precipitación correspondiente a una estación ubicada al sudeste de la misma que con otra estación ubicada al noreste. Esto se debe a que el decrecimiento con la distancia del coeficiente de correlación es diferente para cada dirección: en la dirección de la orientación media de los frentes fríos la correlación decae más lentamente que en la dirección normal a esta orientación (Barrera, 1994).

2.5 ESTRUCTURA DE LA RED IDEAL

Una consecuencia de este hecho es que la estructura ideal de una red pluviométrica sea una retícula rectangular con un eje orientado según la dirección de mínimo decrecimiento

de la correlación con la distancia (FIGURA 3).

**FIGURA 3
DIMENSIONES DE LA RED IDEAL**



Las estaciones, ubicadas en los nodos de la retícula, estarán separadas entre sí según las distancias dx y dy , las que a su vez dependerán del nivel de aproximación deseado.

Las separaciones entre nodos dx y dy son proporcionales a las dimensiones de los semiejes de las "elipses" de correlación y además determinan el rectángulo de área máxima contenido en la isolinia del campo de correlación correspondiente al valor de aproximación elegido. De esta forma, cualquier punto dentro de la región considerada posee un coeficiente de correlación con alguna de las estaciones de la red que resulta ser mayor o igual que el valor aceptado como nivel inferior de aproximación (z), y además, la cantidad de puntos de medición necesarios para cubrir un área dada es mínima.

Cada elemento de la malla de estaciones tiene un área:

$$\text{ÁREA} = dx * dy$$

en donde dx y dy están relacionados por la función paramétrica correspondiente. En ésta, si fijamos un nivel inferior de aproximación, se tiene:

$$dy = dy(dx, z) \quad (z=cte)$$

Para determinar las dimensiones que hacen máxima el área del rectángulo, o sea, que hacen mínima la cantidad de estaciones

pluviométricas necesarias para cubrir un área ϵ $d(\text{ÁREA})/d(dx)=0$ plir la ecuación:

$$d(\text{AREA})/d(dx)=0$$

Se arriba así a una expresión de las dimensiones óptimas para dx y dy que dependen de los parámetros de la función de correlación espacial, y por lo tanto, del lapso de acumulación de la precipitación.

3. RESULTADOS

3.1 DISEÑO DE UNA RED IDEAL

La TABLA 1 es un ejemplo de valores hallados para la Prov. de Bs. As. En la misma se muestra la separación máxima entre estaciones que es necesario asegurar para estimar precipitación acumulada en diferentes lapsos invernales, tomando diferentes niveles de aproximación aceptable.

TABLA 1

R=0.9		
LAPSO	dx	dy
5 días	9.2 km	9.2 km
30 días	14.1 km	14.1 km

R=0.8		
LAPSO	dx	dy
5 días	18.9 km	18.9 km
30 días	28.3 km	28.3 km

R=0.7		
LAPSO	dx	dy
5 días	42.3 km	26.5 km
30 días	75.5 km	56.2 km

Es posible observar en la tabla que cuando el lapso de integración de la precipitación aumenta, aumenta también la correlación para una distancia dada. Sin embargo, el modelo paramétrico que mejor ajusta al correlograma respectivo sigue siendo el mismo, modificándose solamente sus

parámetros. Este aumento en la correlación espacial para lapsos de integración mayores permite que el espaciamiento entre las estaciones de la red ideal sea mayor; y en el caso de aplicación a una red real, hace que la zona de cobertura de cada una de las estaciones existentes sea mayor.

3.2 MEJORAMIENTO DE UNA RED REAL

Si lo que se desea es disminuir el nivel de incerteza al estimar la lluvia caída en una localidad en una región en la cual ya existe una red pluviométrica, es posible determinar dentro de ella las localidades cuya correlación máxima con alguna estación de la red tiene un valor inferior al considerado aceptable (nivel z).

Para la red pluviométrica considerada en este estudio, pueden observarse en las FIGURAS 4 y 5 los puntos (1) correlacionados con alguna estación de forma de asegurar un nivel mínimo de aproximación correspondiente a un coeficiente de correlación de 0.75 y 0.8, respectivamente, en el caso de precipitación acumulada mensual. En las áreas con niveles deficientes de aproximación (0) deberían instalarse nuevos pluviómetros, para que todos los puntos del área alcancen el nivel de correlación requerido.

FIGURA 4
NIVEL DE APROXIMACIÓN = 0.75

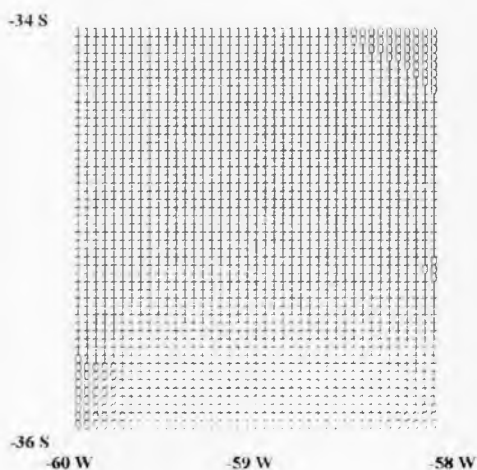
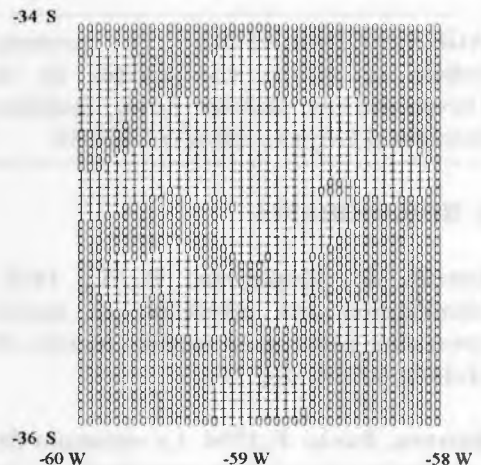


FIGURA 5
NIVEL DE APROXIMACIÓN = 0.8



4. CONCLUSIÓN

Este método permite diseñar una red pluviométrica, asegurando el requisito de un nivel mínimo de aproximación aceptable en toda el área, y reduciendo al mínimo la cantidad de estaciones a ser instaladas. Además, permite completar objetivamente una red ya existente, de modo de cumplir con el requisito mencionado, minimizando la cantidad de nuevas estaciones a ser instaladas.

Es importante destacar que los resultados expuestos en la TABLA 1 y en las FIGURAS 5 y 6 sólo se aplican a la región estudiada e involucran un análisis de los sistemas precipitantes que afectan a la misma en forma previa al tratamiento estadístico de los datos. Sin embargo, la metodología desarrollada es aplicable a cualquier región de interés.

Otro punto a destacar es el hecho de que esta metodología pueda ser aplicada a la optimización de redes de medición de cualquier otra variable meteorológica. Ya que las variables meteorológicas de mayor interés agronómico suelen poseer una gran variabilidad espacial (humedad, temperatura mínima, heliofania, etc.), resulta especialmente importante para esta actividad el poder identificar el nivel de aproximación

con el cual estas variables son interpoladas en localidades sin medición.

AGRADECIMIENTOS: El presente trabajo se realizó con aportes de la Universidad de Buenos Aires, mediante Subsidio al Proyecto UBACYT EX030.

5. BIBLIOGRAFÍA

Bacchi, B., Kottogoda, N. T., 1975. Identification and calibration of spatial correlation patterns of rainfall. *Journal of Hydrology*, 165, pág. 311.

Barrera, Daniel F., 1994. La estructura de correlación espacial de la precipitación en la Prov. de E. Ríos: su relación con los sistemas precipitantes. Aceptado en *Revista de Geofísica, España*.

Barrera, Daniel F., 1988. Análisis climático-estadístico de las estructuras temporales y espaciales de la precipitación diaria en meso-escala. Aplicación al filtrado y corrección de errores de observación. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires.

Houze, R. A., 1996. *Cloud Dynamics*. Academic Press. London.

Huff, F. A. y W. L. Shipp, 1969. Mesoscale spatial variability in midwestern precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, pag.437, 7.

Sharon, D., 1974. On the modelling of correlation functions for rainfall studies. *Journal of Hydrology*, 15.

Thiébaux, H. J. y Pedder, M. A., 1976. Anisotropic correlation functions for objective analysis. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 104, 994-1002.

Thiébaux, H. J. y Pedder, M. A., 1987. *Spatial Objective Analysis with Applications in Atmospheric Science*. Academic Press. London.

World Met. Org., 1972. Casebook on hidrological neywork design practice. WMO N°324