

*III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra*

*Nov. 4-8, 2002, Puerto Vallarta*

# ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO USANDO DATOS DE PLUVIÓMETROS Y ● RADAR METEOROLÓGICO

Martín Díaz<sup>(1)</sup>, Graciela Herrera<sup>(3)</sup>, Arturo Valdés<sup>(4)</sup>

- 1) Instituto Mexicano del Petróleo, IMP
- 2) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA
- 3) Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

e-mail: *mdiazv@imp.mx*

## OBJETIVO

- Estimación mediante un enfoque geoestadístico de la distribución espacial de la precipitación en el Valle de México usando de manera conjunta datos de pluviómetros y de radar meteorológico

# PLAN DE LA PRESENTACIÓN

- Antecedentes
- Información Disponible
- Preprocesamiento de los Datos
- Análisis Geoestadístico Univariado
- Análisis Geoestadístico Conjunto
- Conclusiones
- Trabajo Futuro

## ANTECEDENTES

Existen dos maneras de estimar la precipitación usando mediciones de radar:

- Usando relaciones Z-R para hacer transformaciones de reflectividad del radar (dBZ) en intensidad de lluvia (mm/h)
- Ajustando las mediciones de radar usando mediciones de pluviómetros

## ANTECEDENTES

1. Krajewski, W.F., (1987), Cokriging radar-rainfall and rain gage data, *J. Geophys. Res.*, 92, (D8), 9571-9580.
2. Anhert, P., W. Krajewski y E. Johnson, (1986), Kalman filter estimation of radar-rainfall field bias, *Memorias XXIII Conferencia de radar meteorológico, Amer. Meteor. Soc.*, pp JP 33-37.

## INFORMACIÓN DISPONIBLE

- Datos de RADAR
- Las imágenes de radar que se usaron son de 8 bits de 240 X 240 km con resolución de 1 km en la presentación pseudo-CAPPI a 2 km de altura sobre el sitio de radar y se obtienen cada quince minutos.

# INFORMACIÓN DISPONIBLE

- Datos de PLUVIÓMETROS
- Son de la red de 61 pluviómetros en el área metropolitana de la ciudad de México que reportan, vía radio, cada minuto la lluvia acumulada en ese intervalo a una computadora central en la DGCOH.

# PREPROCESAMIENTO DE LOS DATOS

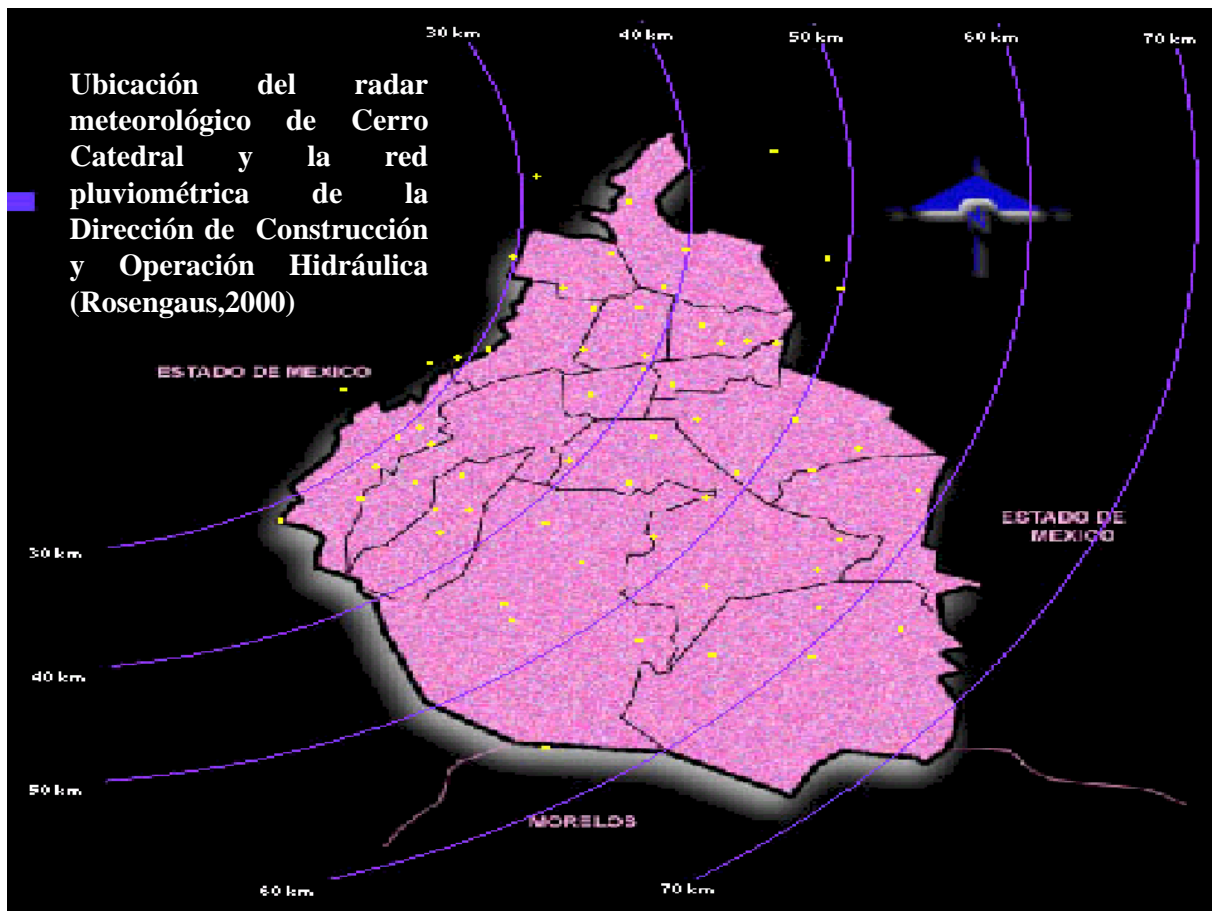
- Se calculó la lluvia acumulada en una hora para los datos de radar y de pluviómetros.
- En el caso del radar se utilizó la relación Z-R del tipo  $Z = 300R^{1.4}$ , que se usa en los radares de Estados Unidos, para transformar la reflectividad del radar (dBZ) en intensidad de lluvia (mm/h)

## PREPROCESAMIENTO DE LOS DATOS

- Para cada sitio donde están ubicados los pluviómetros de la DGCOH se encuentra la intensidad de lluvia (mm/h) en los nueve pixeles circundantes de la imagen de radar, que incluye el pixel donde esta situado el pluviómetro y los ocho pixeles a su alrededor.

## PREPROCESAMIENTO DE LOS DATOS

- En el caso de las mediciones de los pluviómetros se consiguieron en la DGCOH los archivos con los registros de lluvia y se calculó la lluvia acumulada horaria en cada uno de los pluviómetros.



## ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO UNIVARIADO

- **Análisis preliminar de los datos**
- **Análisis exploratorio de los datos**
- **Estimación del variograma**
- **Modelación del variograma**
- **Validación del modelo de variograma**
- **Estimación espacial (Kriging)**
- **Interpretación de los resultados**

## Análisis preliminar

- Se tomaron las mediciones de pluviómetros disponibles para la tormenta del 15 de julio de 1997 y en los puntos correspondientes a los pluviómetros se calculó el valor de lluvia usando los valores de radar según la metodología expuesta.
- Los valores de precipitación con sus coordenadas en UTM se introdujeron en una base de datos en excel, Pluv-Radar.xls, resultando un total de 50 puntos de medición.

## Análisis preliminar

- Se procedió a depurar la muestra en forma tal, que los datos fueran consistentes con la información que se poseía, sin que se detectaran inconsistencias en este sentido.
- Con los valores resultantes se prepararon los archivos 1507plu.gsd y 1507rad.gsd con el formato adecuado para ser usado por el programa GEOESTAD

# Análisis exploratorio

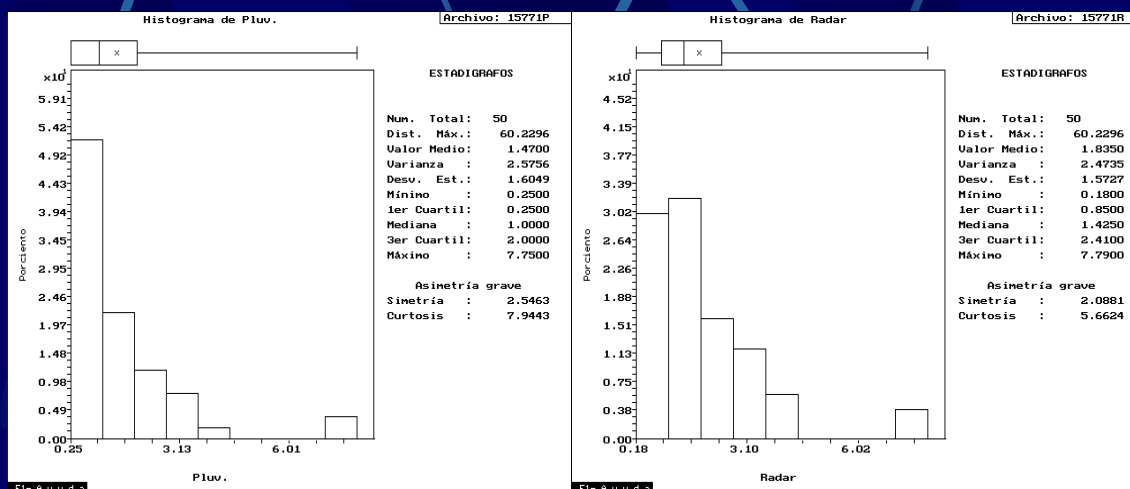
## ● Análisis estadístico básico

Estadígrafos	Precipitación	
	Pluv. (mm)	Radars (mm)
Tamaño de la muestra	50	50
Distancia Máxima	60.22958	60.22958
Valor Medio	1.47000	1.83500
Varianza	2.57561	2.47352
Desviación Estándar	1.60487	1.57274
Valor Mínimo	0.25000	0.18000
1 <sup>er</sup> Cuartil (0.25)	0.25000	0.85000
Mediana	1.00000	1.42500
3 <sup>er</sup> Cuartil (0.75)	2.00000	2.41000
Valor Máximo	7.75000	7.79000

# Análisis exploratorio

## ● Prueba de hipótesis de Normalidad

Los histogramas Fig. 2, muestran una fuerte asimetría positiva en los datos tanto de pluviómetros como de radar, por lo cual no se puede considerar a la distribución de las muestras como normal

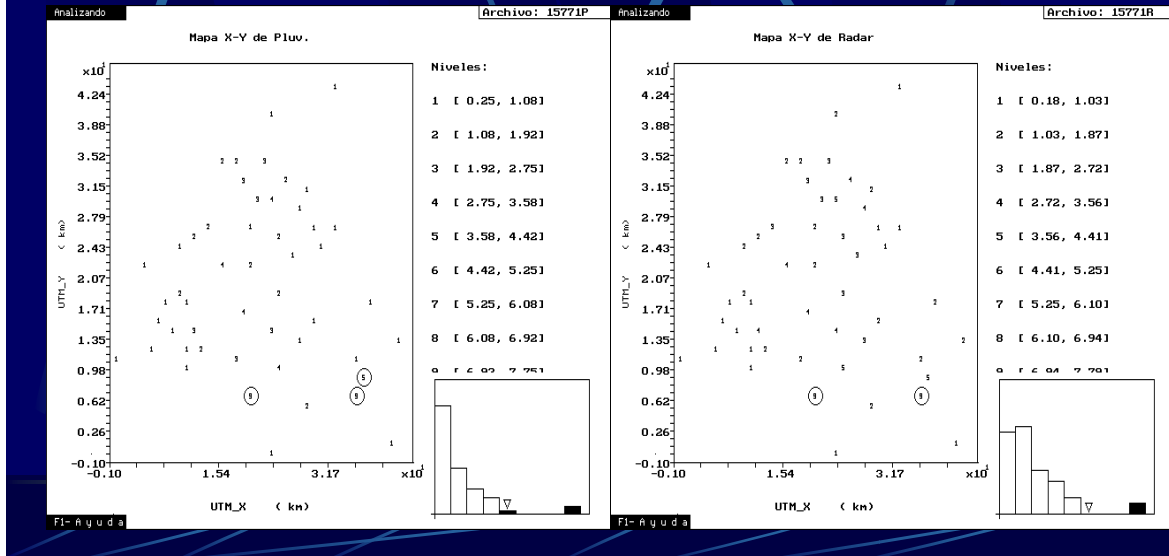




# Análisis exploratorio

## ● Análisis de *outliers* espaciales y distribucionales

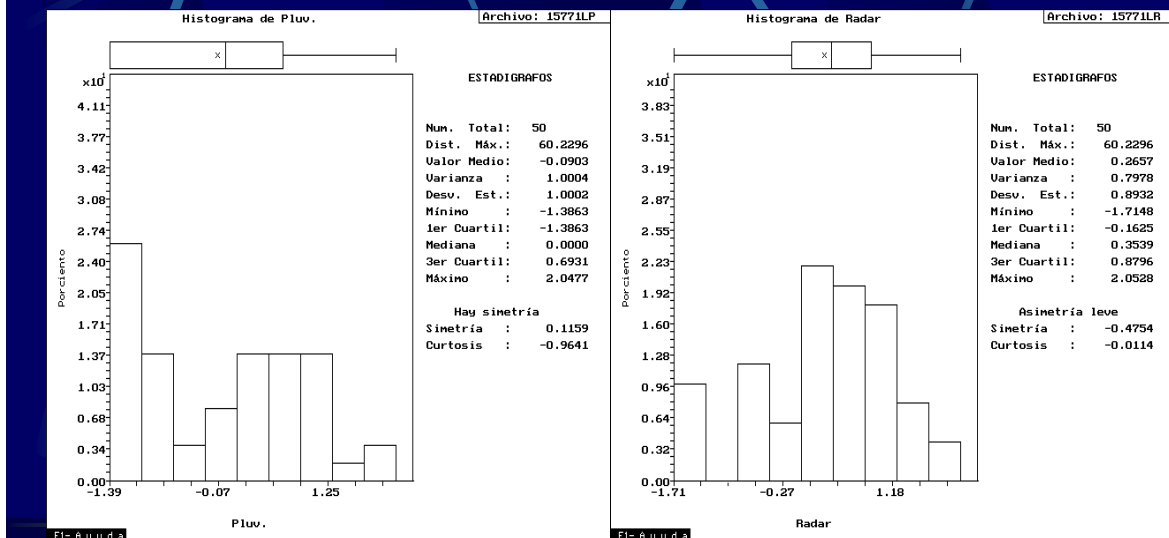
Se detectaron en ambas muestras dos *outliers* distribucionales, asociados a los valores mas altos de precipitación y que coinciden en sus posiciones



# Análisis exploratorio

## ● Transformación logarítmica de los datos.

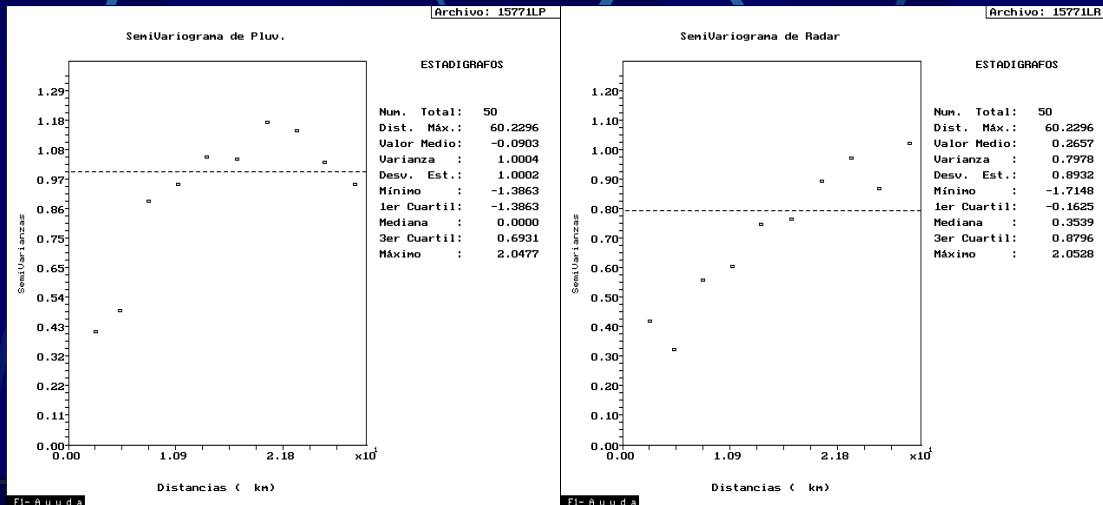
Para resolver el problema de la asimetría de las distribuciones se propone hacer una transformación logarítmica de los datos.



# Análisis exploratorio

## ● Análisis de tendencia

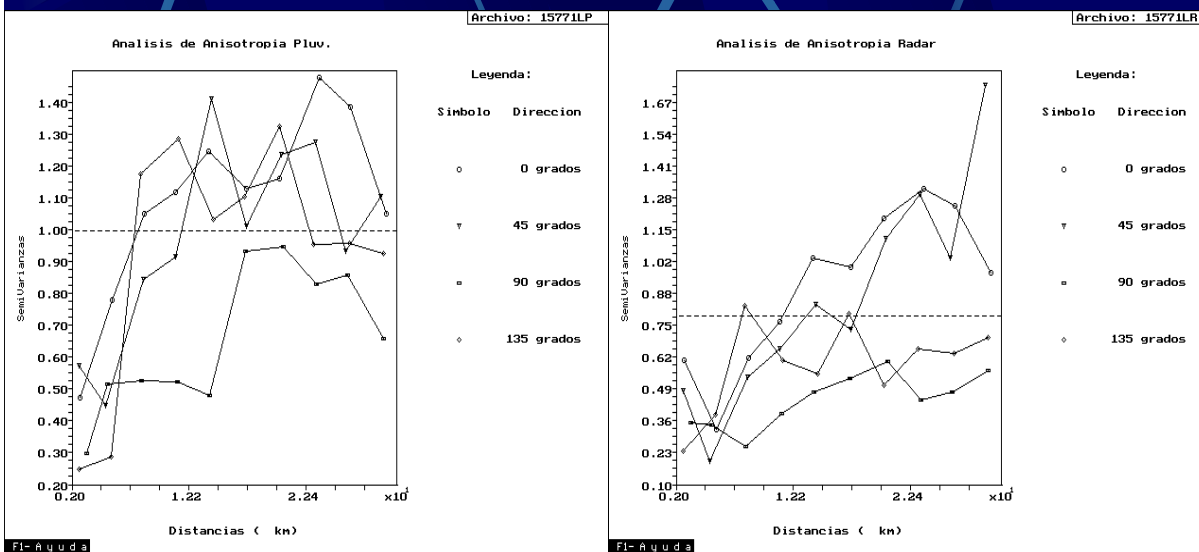
Los variogramas adireccionales no muestran presencia significativa de tendencia puesto que están acotados a un nivel aproximado de las varianzas totales o *a priori* de la muestra.



# Estimación del variograma

## ● Análisis de anisotropía

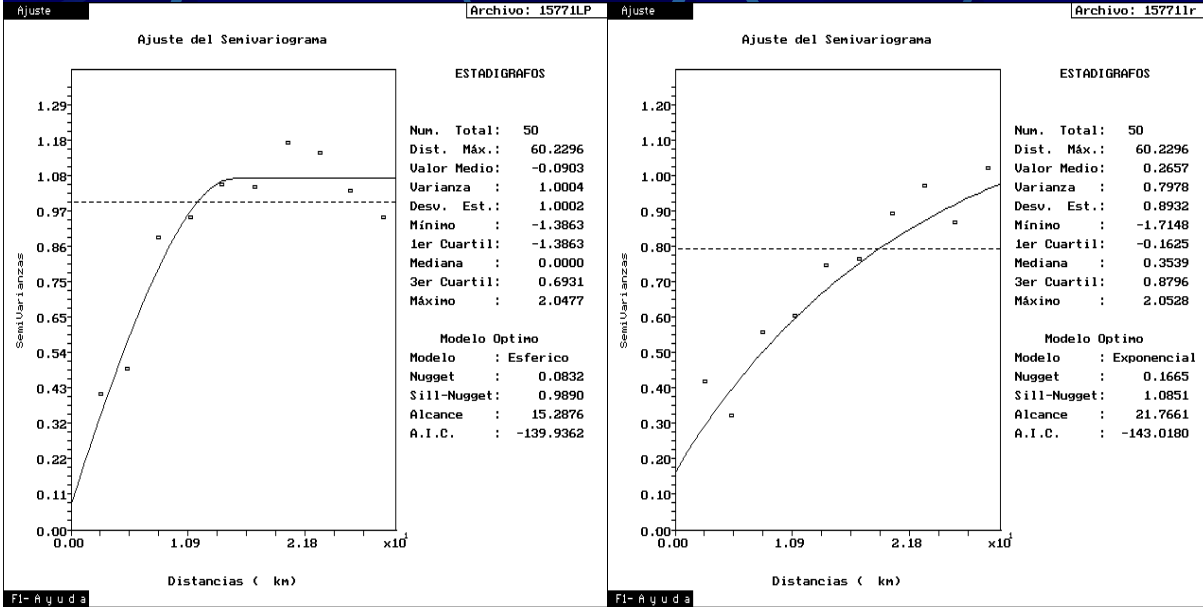
Se estiman variogramas en cuatro direcciones: 0°, 45°, 90° y 135° con ventanas de  $\pm 22.5^\circ$  para un valor de los intervalos de 3 km



# Modelación del variograma

## Ajuste inicial mediante mínimos cuadrados ponderados

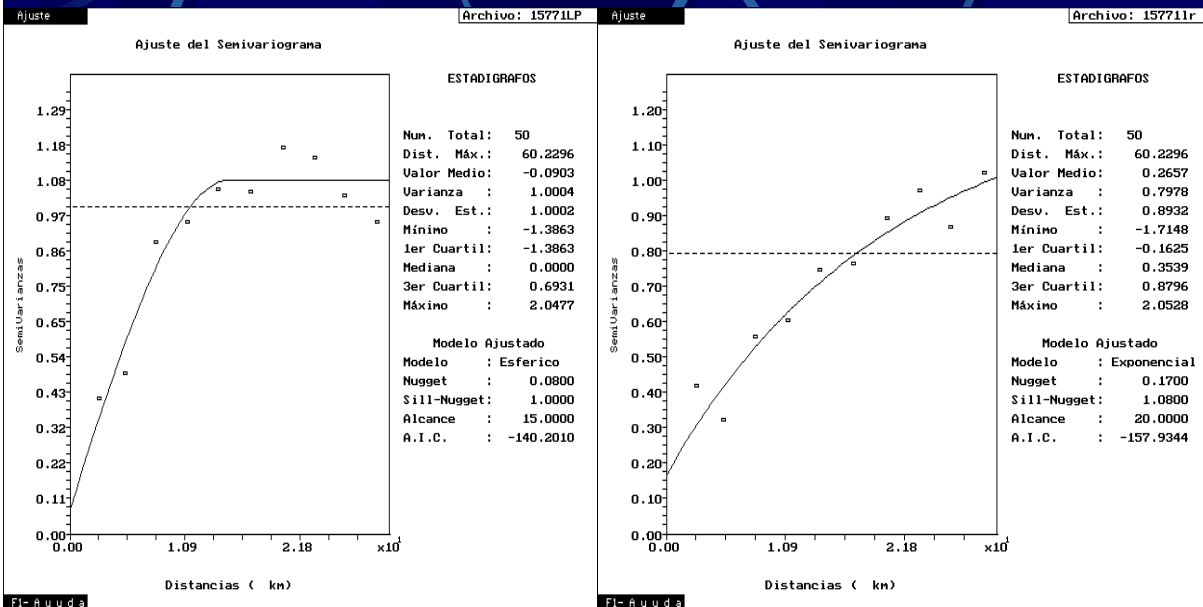
Variable	Modelo	Nugget	Sill-Nugget	Alcance	AIC
Ln Pluv.	Esférico	0.08324	0.98905	15.28765	-139.93621
Ln Radar	Exponencial	0.16651	1.08507	21.76607	-143.01795



# Modelación del variograma

## Ajuste final mediante prueba y error

Variable	Modelo	Nugget	Sill-Nugget	Alcance	AIC
Ln Pluv.	Esférico	0.08	1.00	15.00	-140
Ln Radar	Exponencial	0.17	1.08	20.00	-157

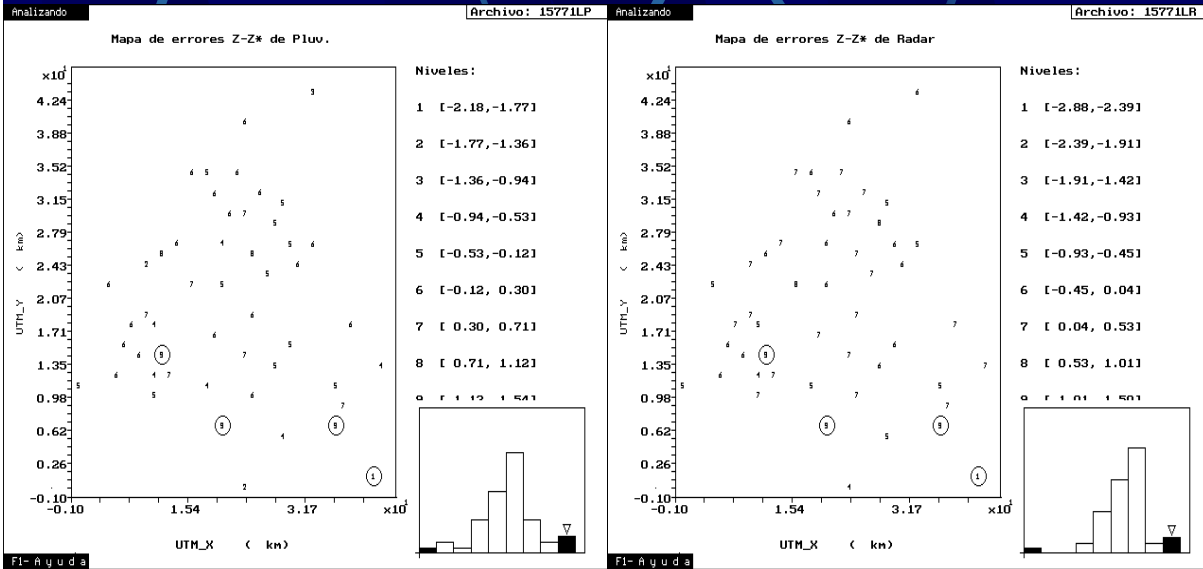


# Validación del Variograma

## Validación cruzada mediante el método de *leave one out*

Valor Medio de  $Z-Z^* = -9.1038175530E-02$   
Varianza de  $Z-Z^* = 4.9264214414E-01$   
% de puntos estimados = 100.00%

Valor Medio de  $Z-Z^* = -5.8391945131E-02$   
Varianza de  $Z-Z^* = 4.9706419773E-01$   
% de puntos estimados = 100.00%

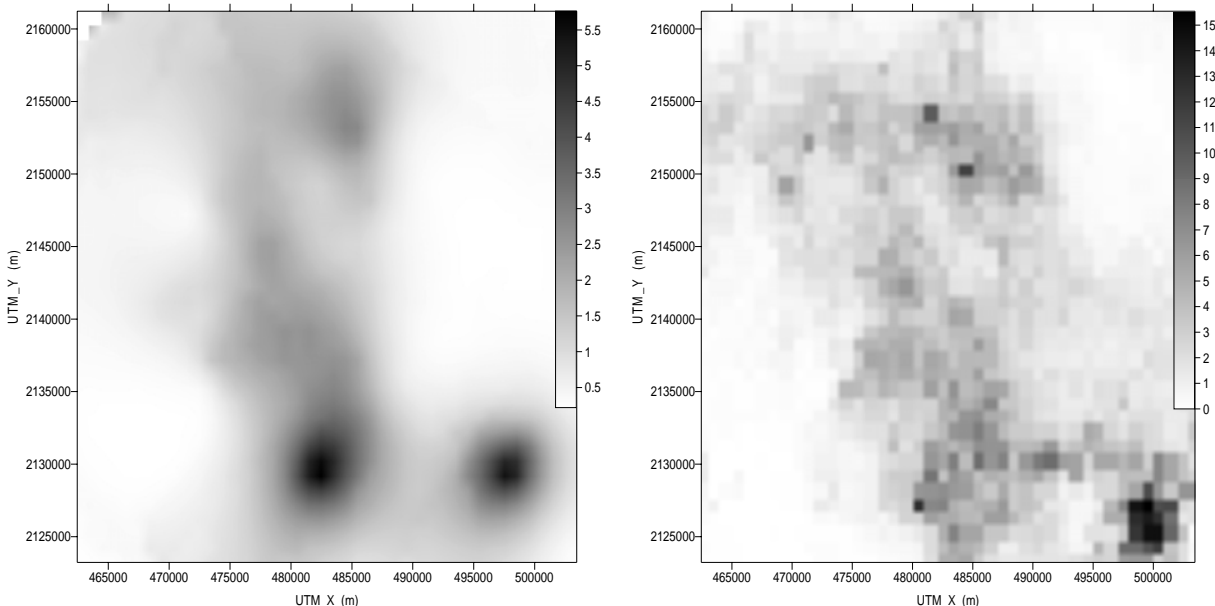


# Estimación espacial (Kriging)

## Estimados de precipitación usando Kriging Ordinario Puntual

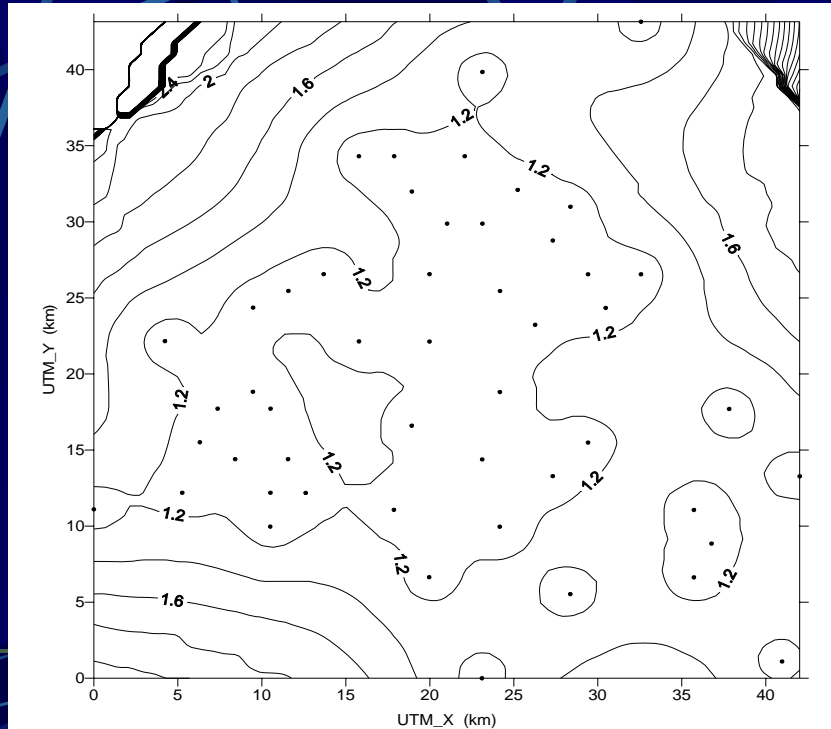
Usando Kriging

Imagen de Radar



# Estimación espacial (Kriging)

- Desviación estándar del error de la estimación usando Kriging



## Interpretación de los resultados

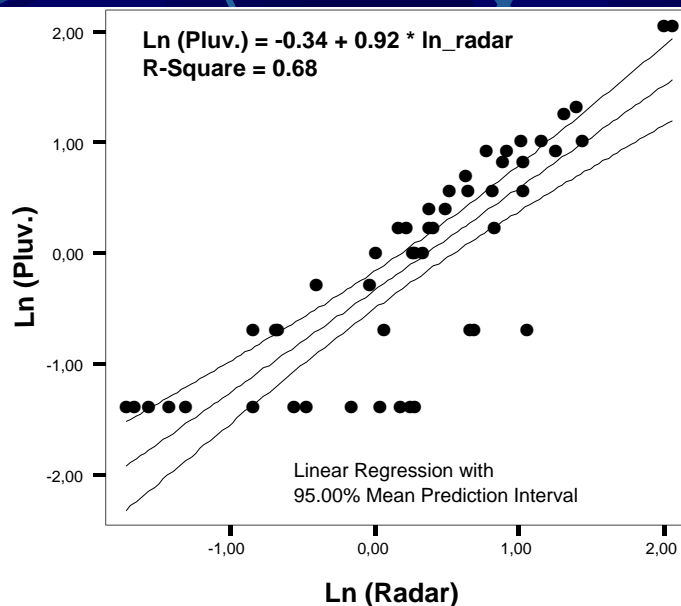
- El mapa obtenido usando Kriging con los datos de los Pluviómetros recoge la variabilidad espacial en general de la precipitación pero suavizada
- La imagen obtenida con Kriging está correlacionada con la imagen de Radar y es coherente con respecto a los valores máximos.

# ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO CONJUNTO

- **Análisis Geoestadístico Univariado**
- **Análisis Conjunto de los Datos de Pluviómetros y de Radar**
- **Estimación del variograma cruzado**
- **Modelación del variograma cruzado**
- **Ajuste de un modelo de correogionalización lineal**
- **Validación del modelo**
- **Estimación espacial conjunta (CoKriging)**
- **Interpretación de los resultados**

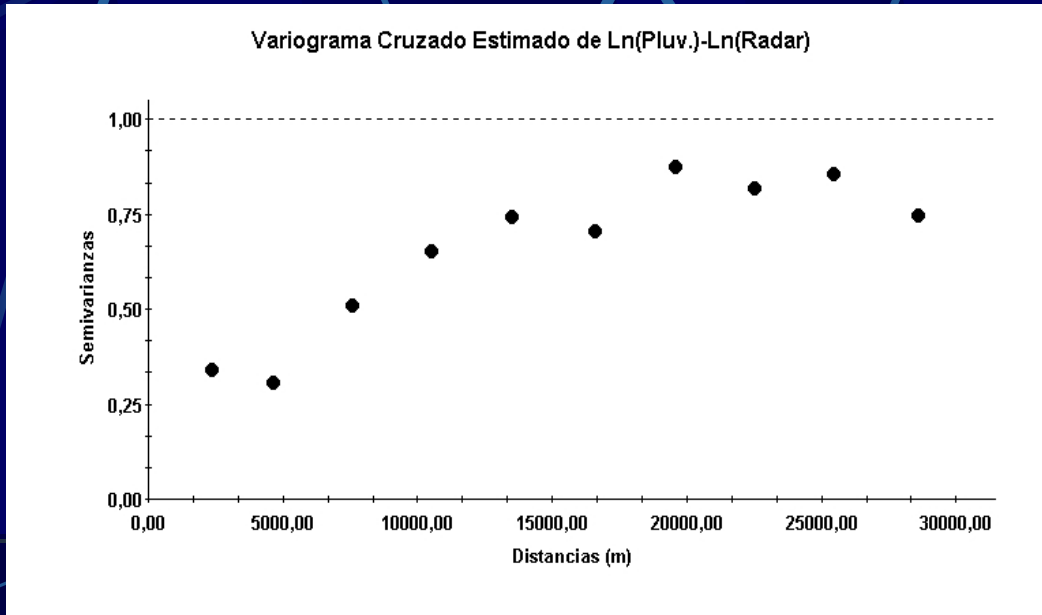
## Análisis Conjunto de los Datos de Pluviómetros y de Radar

- **Regresión lineal entre Ln (Radar) y Ln (Pluv.)**



# Estimación del Variograma Cruzado

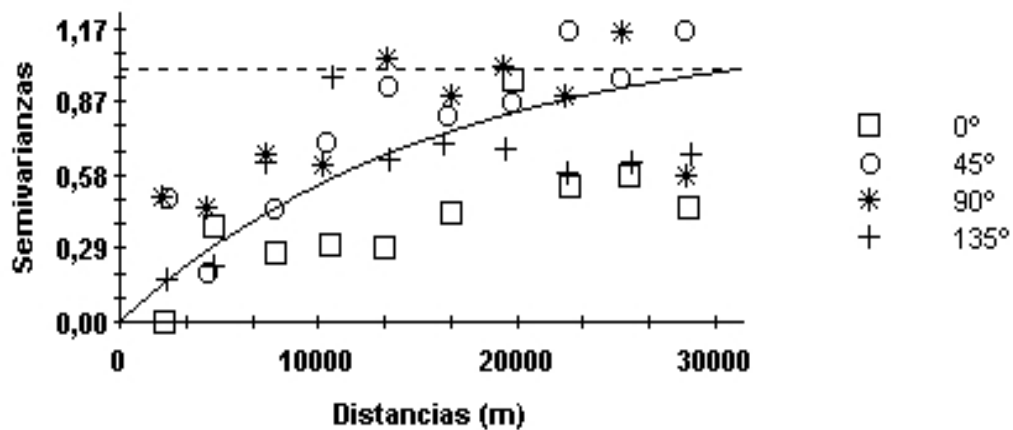
## Variograma Cruzado adireccional



# Estimación del Variograma Cruzado

## Análisis de Anisotropía

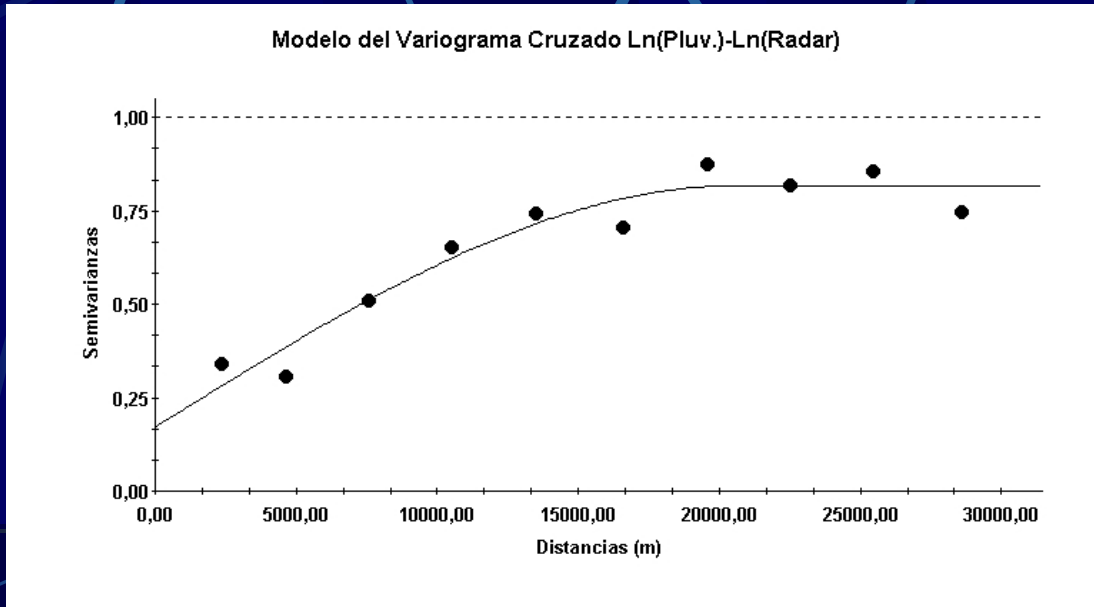
Variogramas Cruzados Ln(Pluv.)-Ln(Radar) en cuatro direcciones



# Modelación del Variograma Cruzado

## Ajuste del variograma cruzado

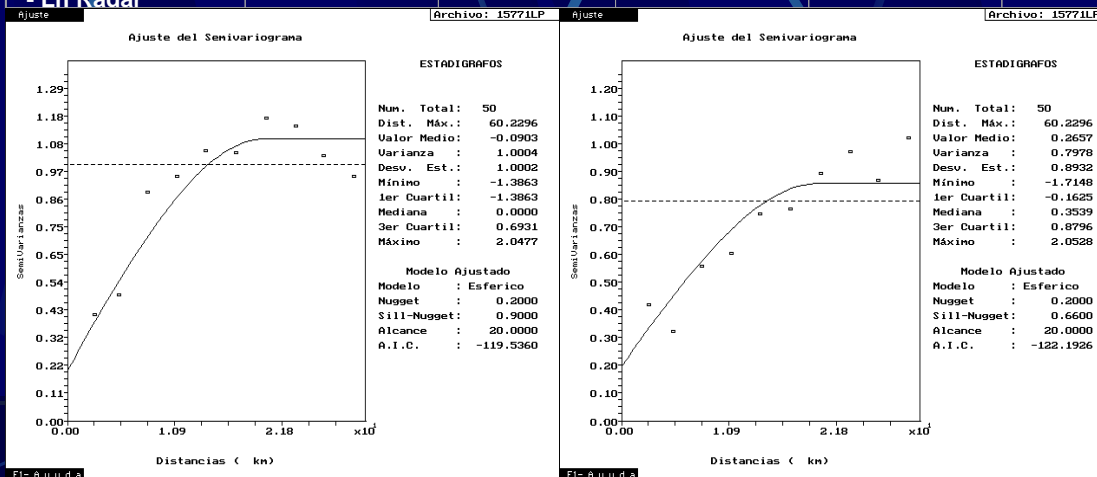
Variables	Modelo	Nugget	Sill-Nugget	Alcance	AIC
Ln Pluv.- Ln Radar	Esférico	0.17	0.647	20.00	-119



# Ajuste del modelo de correogionalización lineal

## Método de Prueba y Error

Variables	Modelo	Nugget	Sill-Nugget	Alcance	AIC
Ln Pluv. $\gamma_{PP}(\underline{h})$	Esférico	0.20	0.90	20.00	-119
Ln Radar $\gamma_{RR}(\underline{h})$	Esférico	0.20	0.66	20.00	-122
Ln Pluv. - Ln Radar $\gamma_{PR}(\underline{h})$	Esférico	0.17	0.65	20.00	-119





# Ajuste del modelo de correogionalización lineal

- El modelo de correogionalización lineal resultante de Ln Pluv. y Ln Radar es:

- $$\begin{pmatrix} \gamma_{PP}(\underline{h}) & \gamma_{PR}(\underline{h}) \\ \gamma_{RP}(\underline{h}) & \gamma_{RR}(\underline{h}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.20 & 0.17 \\ 0.17 & 0.20 \end{pmatrix} \gamma_0(\underline{h}) + \begin{pmatrix} 0.90 & 0.65 \\ 0.65 & 0.66 \end{pmatrix} \gamma_1(\underline{h})$$

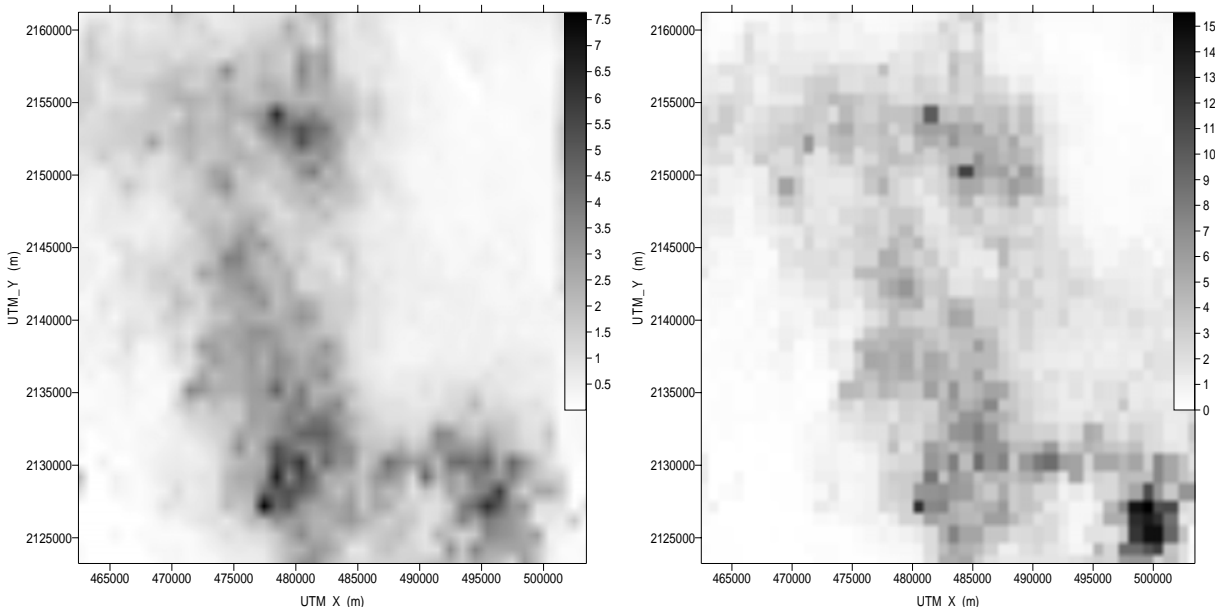
- donde  $\gamma_0(\underline{h})$  es el modelo nugget, y  $\gamma_1(\underline{h})$  es el modelo esférico con alcance 20 Km.

- Se puede observar que el modelo es válido, ya que los determinantes son positivos:

- $$\det \begin{pmatrix} 0.20 & 0.17 \\ 0.17 & 0.20 \end{pmatrix} = 0.011 > 0, \quad \det \begin{pmatrix} 0.90 & 0.65 \\ 0.65 & 0.66 \end{pmatrix} = 0.172 > 0$$

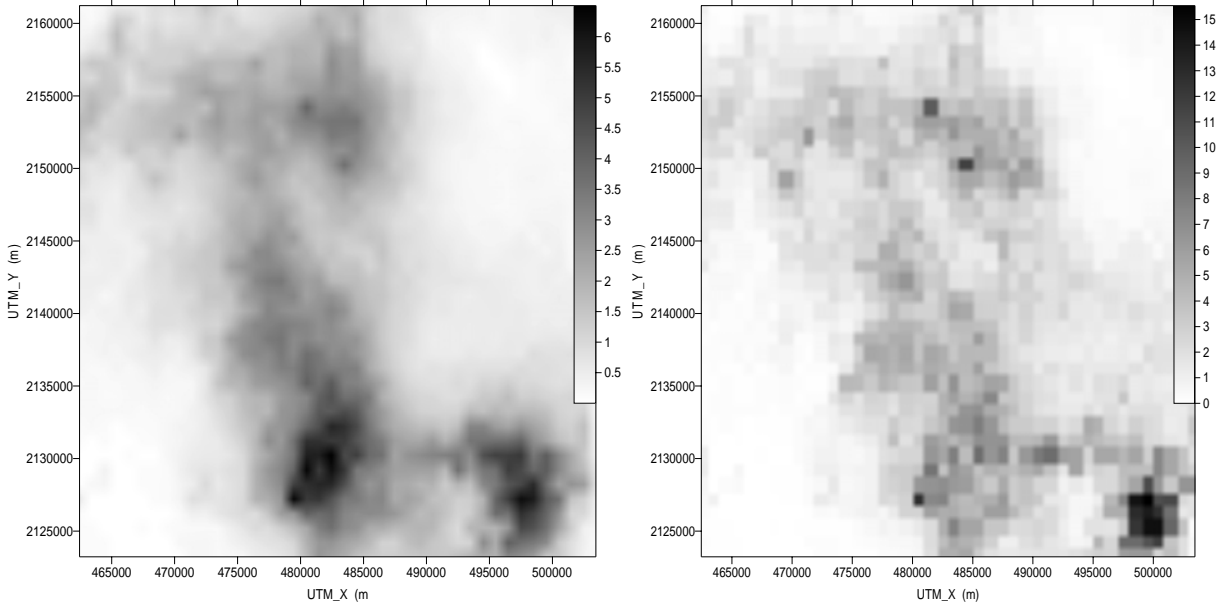
# Estimación espacial conjunta (CoKriging)

- Cokriging Ordinario Puntual (Todos los puntos de Radar)
- Co-Kriging Ordinario                      Imagen de Radar



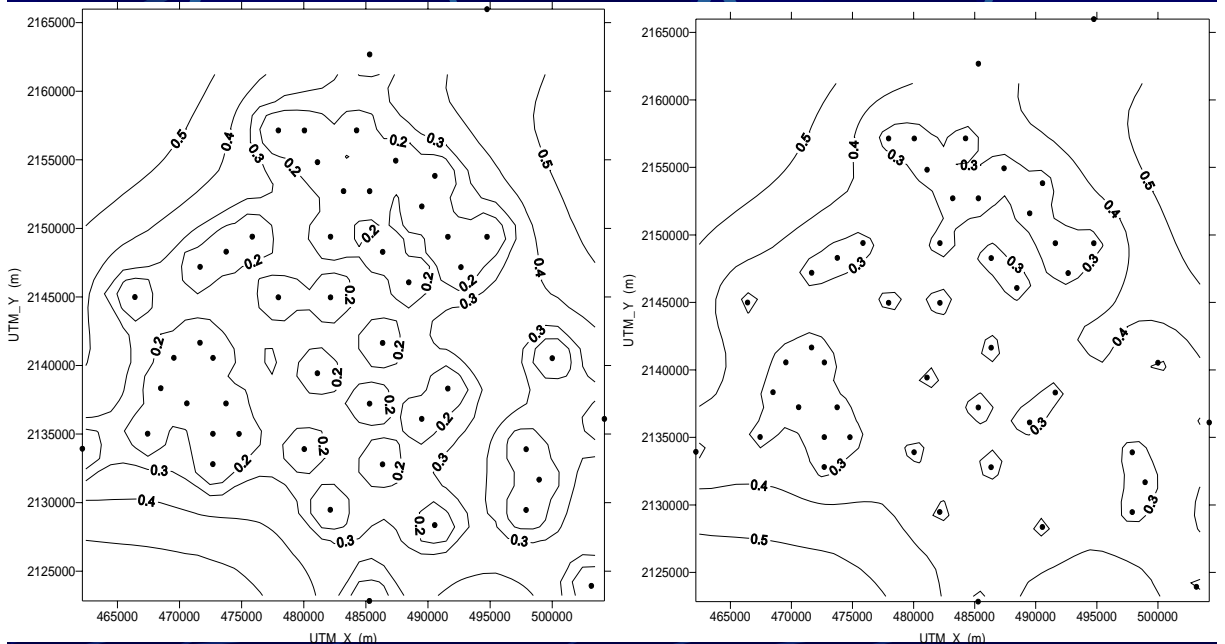
# Estimación espacial conjunta (CoKriging)

- Cokriging Colocado Puntual (el valor de Radar asociado)
- Co-Kriging Colocado                      Imagen de Radar



# Estimación espacial conjunta (CoKriging)

- Desviación estándar del error de la estimación
- Co-Kriging Ordinario                      Co-Kriging Colocado



## Interpretación de los resultados

- El CoKriging con todos los datos de la imagen de Radar refleja la variabilidad espacial con un gran detalle.
- El CoKriging Colocado puede ser una alternativa eficiente para un sistema en tiempo real aunque con un mayor error.

## CONCLUSIONES

- Los enfoques geoestadísticos permiten obtener estimaciones óptimas cuando se realizan apegadas a las metodologías.
- El uso del Kriging debe estar asociado a un análisis geoestadístico.
- En su defecto se recomienda usar estimadores del tipo de distancias inversas.

# TRABAJO FUTURO

- Tomar en cuenta como otra variable la orografía.
- Estimaciones Espacio-Temporales de la distribución de las precipitaciones con un enfoque geoestadístico.
- Uso conjunto del Filtro de Kalman y del enfoque geoestadístico.