

*Revista Electrónica Nova Scientia*

Aplicación del método de Krige para el  
análisis de cobertura de un nodo B  
WCDMA coverage map analysis using Krige  
interpolation method

**José Luis López-Bonilla, Yazmín Ponce-Rojas, Sergio Vidal-  
Beltrán e Iván Zamudio-Castro**

---

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME Zacatenco-IPN,  
México, DF

---

**México**

*José Luis López-Bonilla.* E-Mail: [jlopezb@ipn.mx](mailto:jlopezb@ipn.mx) *Yazmín Ponce-Rojas.* E-Mail: [ponce\\_jaz7@hotmail.com](mailto:ponce_jaz7@hotmail.com)

© Universidad De La Salle Bajío (México)

## Resumen

El presente trabajo muestra el procedimiento y aplicación del método de Krige (ó Kriging) para el análisis de la potencia radiada por una Estación Base, también llamada nodo B, a través de un grupo de muestras puntuales de dicha potencia tomadas en diferentes posiciones y distancias. Estas muestras fueron obtenidas empleando equipo especializado el cual permitirá tener mediciones georeferenciadas, y así, poder implementar tal proceso de interpolación para generar mapas de cobertura, haciendo posible conocer la distribución de potencia y en consecuencia entendiendo el comportamiento y configuración del nodo B.

**Palabras clave:** Interpolación, Krige, Nodo B, Variograma.

*Recepción:* 16-11-2010

*Aceptación:* 28-02-2011

## Abstract

This work shows the procedure and application of the Krige's method (or Kriging) for the analysis of the radiated power level for a Node B, through a set of samples of that power level taken in different positions and distances. These samples were obtained using specialized equipment which will allow to get geo-referenced measurements, and thus able to implement such a process of interpolation to generate coverage maps, making possible to know the distribution of power and therefore understanding the behavior and configuration of node B.

**Keywords:** Interpolation, Krige, Node B, Variogram.

**Introducción:**

Actualmente WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) es una técnica de acceso al medio implementada en un gran número de países alrededor del mundo, entre ellos México, la cual permite al usuario disponer de la totalidad del ancho de banda en cualquier momento, ya que identifica la información de cada estación móvil a través de códigos permitiendo que se transmita confiablemente mediante el mismo canal sin necesidad de ser dividido en tiempo o frecuencia.

WCDMA brinda altas tasas de transferencia, soporte eficiente del tráfico asimétrico, transmisión mediante conmutación de paquetes a través de la interface de radio y una alta eficiencia en la utilización del espectro.

La Estación Base (BS), conocida también como nodo B, es parte de la Red de Acceso de Radio Terrestre de UMTS (UTRAN). El Nodo B tiene como tareas fundamentales realizar la transmisión y recepción de la señal de radio, filtrado de la señal, amplificación, modulación y demodulación de la señal y ser una interfaz hacia el Controlador de Radio de la Red (RNC) [1].

El Canal Piloto Común (CPICH) transmite una portadora usada para estimar los parámetros del canal; es la referencia física para otros canales. Es empleado para el control de potencia, transmisión y detección coherente, la estimación de canal, medición de celdas adyacentes y obtención del código de mezclado (SC, *scrambling code*) [2].

El método de Krige es una técnica de interpolación basada en una regresión de muestras utilizadas para pronosticar valores desconocidos a partir de valores conocidos espaciados de manera irregular. Es una familia de algoritmos de regresión por mínimos cuadrados generalizados, que a partir de un conjunto de observaciones proporciona el predictor lineal óptimo para la variable en alguna posición.

Fue desarrollado inicialmente por Daniel G. Krige quien desarrolló la técnica en un intento de predecir con mayor precisión las reservas minerales. En las últimas décadas el método de Krige se ha convertido en una herramienta fundamental en el campo de la geoestadística. Krige, a partir del análisis de regresión entre muestras, las cuales fijaron la base de la geoestadística lineal, es un

método geoestadístico de estimación de puntos que utiliza un modelo de **variograma** para la obtención de datos. Se basa en la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón.

El **variograma** o **semivariograma** es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida, obteniendo como resultado la influencia de los datos a diferentes distancias. A partir de los datos proporcionados por el variograma teórico se realizará la estimación por el método de Krige. El semivariograma es un indicativo de qué tan parecidos son los puntos en el espacio a medida que estos se encuentran más alejados.

Para elaborar un variograma se requiere crear primeramente un variograma experimental basado en la muestra seleccionada, y en base a éste se selecciona un variograma teórico que se adecúe al experimental, pues el variograma experimental no es una función donde se puedan realizar interpolaciones.

Las variaciones espaciales correlacionadas se tratan en funciones como el variograma, las cuales muestran la información para optimizar los pesos y elegir radios precisos de búsqueda de datos. Conocidos el variograma y las observaciones originales, se puede conseguir un conjunto de realizaciones para mostrar el intervalo de valores posibles.

Existen tres distintas variantes de Kriging dependiendo de las suposiciones que se hagan con respecto a la media o valor medio de las muestras:

- Krige Simple
- Krige Ordinario
- Krige Universal [3].

### **Metodología**

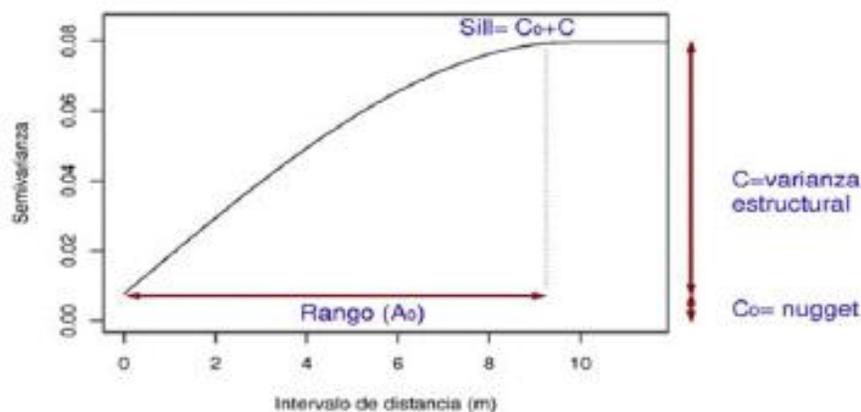
El método de interpolación de Krige facilita la labor de análisis de la distribución de potencia radiada por una antena, ya que basta con tomar una serie de muestras puntuales con el equipo adecuado (el cual sea capaz de obtener las coordenadas geográficas de la ubicación y el

parámetro a analizar) para crear un variograma experimental, y en base a éste hacer la más adecuada aproximación al variograma teórico para poder realizar la interpolación y pasar de muestras discretas a un mapa continuo de medición.

El semivariograma proporciona información del comportamiento espacial de una variable. Sin embargo, es necesario ajustar una función para cuantificar el grado y escala de la variación espacial.

El ajuste a una función permite extraer una serie de parámetros que son utilizados para realizar la interpolación geostatística (Kriging) y que definen el grado y escala de la variación espacial. Estos parámetros son el rango ( $A_0$ ), el *nugget* ( $C_0$ ), el *sill* ( $C_0+C$ ), y la proporción de la varianza dada por el espacio ( $C/C_0+C$ ), frecuentemente expresada como porcentaje.

El rango ( $A_0$ ) es la distancia a la que la semivarianza deja de aumentar. El rango por tanto, indica la distancia a partir de la cual las muestras son espacialmente independientes unas de otras. El *nugget* ( $C_0$ ) es la varianza no explicada por el modelo, y se calcula como la intercepción con el eje Y. Se conoce también como varianza error puesto que la varianza de dos puntos separados por 0 metros debería ser 0. Es por ello que esta varianza está normalmente indicando variabilidad a una escala inferior a la muestreada. La máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos se conoce como *sill* y debe coincidir con la varianza de la población. La relación  $C/C_0+C$  nos da el grado de variación espacial, y por tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Un alto cociente nos indica una variable especialmente muy predecible. Ver Figura 1[4].



**Figura 1** Parámetros para ajuste de semivariograma

El procedimiento de medición se realizó en la banda de frecuencia V, la cual tiene un valor central de 887.5 MHz, la adecuada en México para realizar mediciones de WCDMA.

Las mediciones se realizaron con un analizador de espectro, BTS Master MT8222A, fabricado por ANRITSU. El BTS Master puede medir el rendimiento de nodo B mediante la conexión directa a los equipos de nodo B o a través del aire por la conexión de una antena. Para medir una señal WCDMA por el aire se debe conectar la antena apropiada a la banda de frecuencia que se desea medir. En cuanto a la información de localización de cada medición puntual se requiere de una antena GPS (Sistema de Posicionamiento Global) [5].

El nivel de potencia del CPICH es el parámetro de interés ya que permite hacer la estimación del canal. Por lo tanto, se genera un archivo de texto como el que se indica en la Figura 2, para iniciar el proceso de interpolación.

Posteriormente, ingresando los datos al software “EasyKrig” mediante un archivo de texto como el que se muestra en la Figura 1, se grafican los datos de tal forma que las coordenadas geográficas definen los ejes, y el nivel de potencia determine el color con el cual se representará la muestra puntual, como se aprecia en la Figura 3.

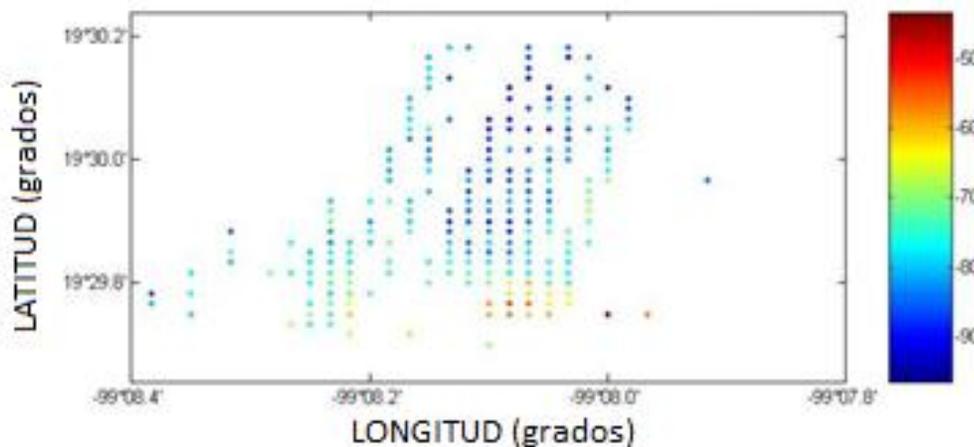
En el siguiente paso, el variograma experimental es construido en función de la variación de la esperanza matemática de los valores obtenidos, para conocer la influencia de los datos a diferentes distancias, como se exhibe en la Figura 4.

Existen diferentes modelos estadísticos espacio-temporales para obtener el variograma experimental, como son: el exponencial, gaussiano, Bessel, lineal, por mencionar algunos. Para los resultados obtenidos en el análisis del desempeño de un nodo B, el modelo más adecuado es el modelo empírico “exponencial de Bessel” ya que la función de Bessel de correlación exponencial es una de las más flexibles para el uso general.

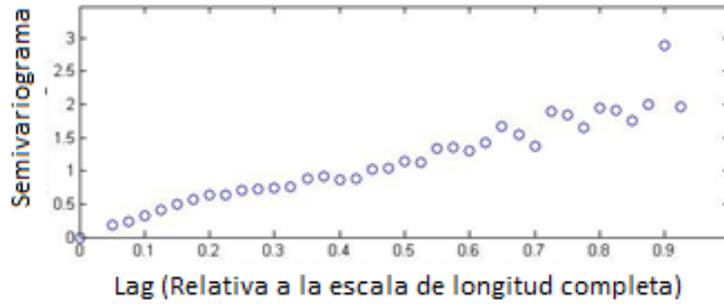
LONGITUD	LATITUD	CPICH
-99.13472222	19.49777778	-82.553
-99.13472222	19.49777778	-80.167
-99.13472222	19.49777778	-83.676
-99.13472222	19.49805556	-88.068
-99.13472222	19.49833333	-84.118
-99.13472222	19.49833333	-85.757
-99.13472222	19.49833333	-88.932
-99.13472222	19.49861111	-86.631
-99.13472222	19.49861111	-83.616
-99.13472222	19.49888889	-79.743
-99.13472222	19.49916667	-82.326
-99.13472222	19.49944444	-86.039
-99.13472222	19.49972222	-84.787
-99.13472222	19.49972222	-85.6
-99.13472222	19.49972222	-87.987
-99.13472222	19.50027778	-81.967
-99.13472222	19.50027778	-81.457
-99.13472222	19.50083333	-86.443
-99.13472222	19.50083333	-88.63
-99.13472222	19.50111111	-89.686
-99.13472222	19.50111111	-91.257
-99.13472222	19.50166667	-89.88
-99.13472222	19.50166667	-93.867
-99.13472222	19.50166667	-91.075
-99.13472222	19.50166667	-88.946
-99.13472222	19.50194444	-92.528
-99.13444444	19.49583333	-59.089
-99.13444444	19.49583333	-64.401
-99.13444444	19.49583333	-61.553
-99.13444444	19.49583333	-61.553
-99.13444444	19.49583333	-59.87

**Figura 2** Formato de archivo de datos

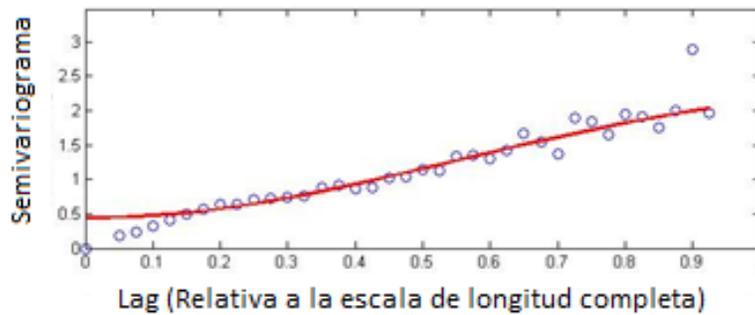
Con base en el mínimo de la suma de los cuadrados, o bien, si se tiene información a priori del comportamiento de la variable, puede realizarse el ajuste manual de los modelos al semivariograma. De esta forma se puede fijar el *nugget*, el *sill* o el rango, dependiendo del tipo de información que tenga la variable, y ajustar los parámetros de los que no se tiene información.



**Figura 3** Localización de mediciones puntuales



**Figura 4** Variograma experimental



**Figura 5** Variograma teórico a partir de LSQ

Para minimizar la varianza del error cuadrático medio de la estimación es necesario contar con una función que describa el comportamiento del fenómeno analizado, ya que una interpolación entre los puntos del variograma experimental no garantiza la existencia y unicidad de la solución del sistema de Kriging, es por ello que, en base al variograma experimental, se construye un variograma teórico que asemeje el comportamiento real de la variable a través de la aproximación por mínimos cuadrados.

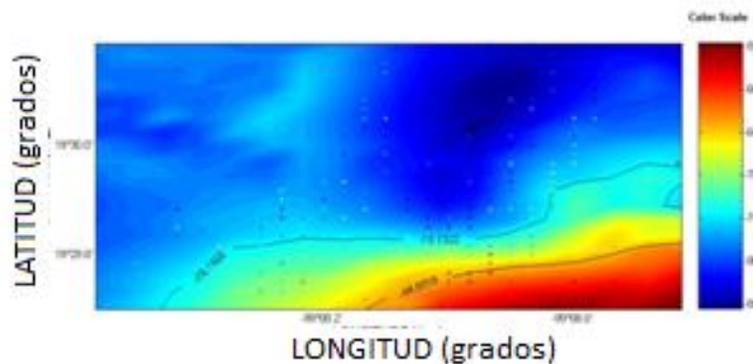
La **Figura 6** se obtiene empleando la variante de Krige Ordinario, ya que se desconoce el valor de la media, y se sabe que dicho valor no es constante en toda el área de estudio, pero se puede considerar constante localmente, pues las mediciones que se realicen a cierta distancia serán muy parecidas a las que se hagan en las vecindades de dicho punto.

Finalmente, se realiza el paso de validación mostrado en la **Figura 7**, para así tener la certeza de que el error cuadrático medio está dentro de la región de aceptación para eliminar cualquier sombra de duda con respecto a la confiabilidad, eficiencia, consistencia, suficiencia e insesgadez del estimador de potencia para un correcto análisis del desempeño de un nodo B del tipo WCDMA.

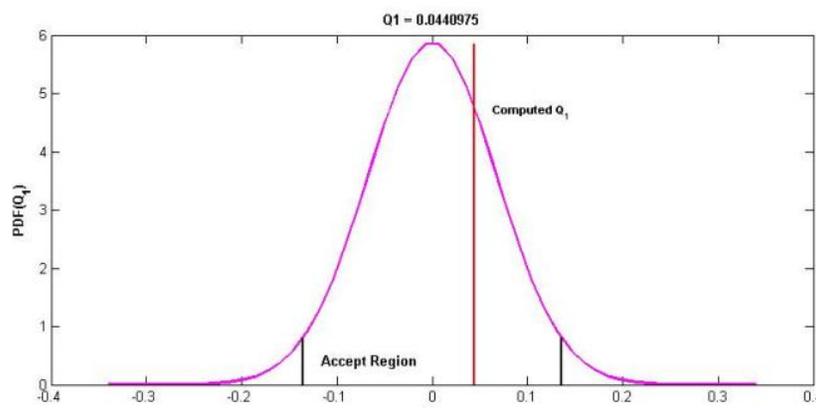
## Resultados

Por tratarse de un método estadístico cada generación de mapa será diferente, tanto como variogramas teóricos puedan ser construidos. Evidentemente esto será función del comportamiento de los datos obtenidos.

Cuando se realiza un gran número de muestras concentradas en un espacio determinado, como se indica en la **Figura 8**, el variograma teórico tiene un comportamiento que se aproxima en gran manera al experimental, tal como se muestra en la **Figura 9**.



**Figura 6** Mapa de Cobertura

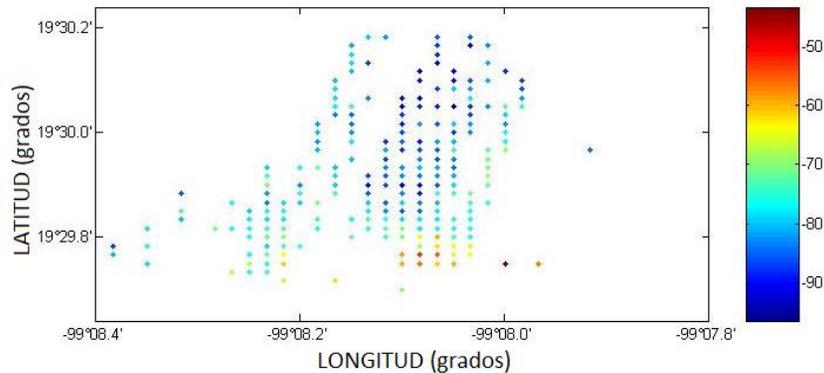


**Figura 7** Validación del proceso de interpolación

En consecuencia, el error de aproximación  $Q$  será muy pequeño y estará dentro del rango de aceptación en la campana de Gauss, como se exhibe en la **Figura 10**.

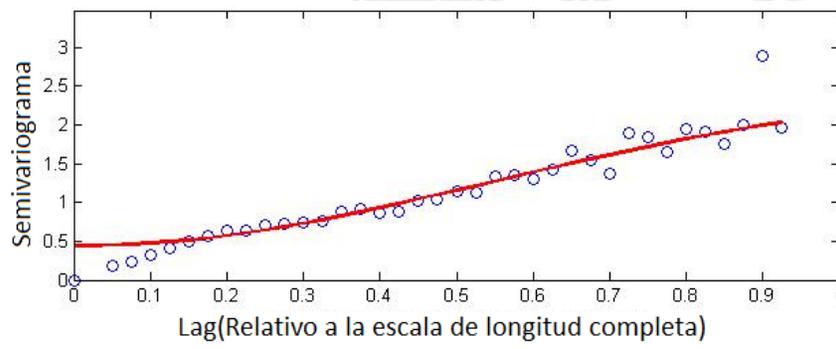
Al cumplir con las condiciones preestablecidas, el mapa de cobertura es construido adecuadamente (**Figura 11**), y por lo tanto es muy claro apreciar la ubicación de la Estación Base, los obstáculos encontrados para la propagación, la atenuación de la señal en función de la distancia, la zona en la cual la señal recibida es aceptablemente buena.

A continuación se presentarán 3 casos que muestran las variantes en los resultados obtenidos. Para el primer caso se obtuvieron 592 muestra puntuales, con un valor mínimo de potencia de -95.9 dBm y una potencia máxima medida de -43.8 dBm. La distribución de dichas mediciones se muestra en la Figura 8. La mayor concentración esta en el centro de la zona de estudio, por lo tanto al ser tan cercanas los valores de potencia medidos no varían drásticamente.



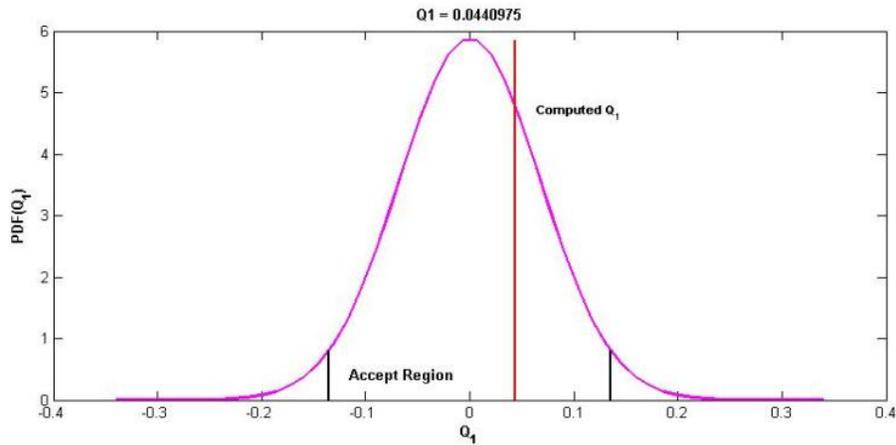
**Figura 8** Ubicación de 592 muestras puntuales

Aunque el rango entre la mayor y la menor potencia es muy amplio, la gran cantidad de muestras permite tener un Semivariograma con un comportamiento fácilmente predecible, y por lo tanto ajustar adecuadamente el Semivariograma teórico, como se muestra en la **Figura 9**.



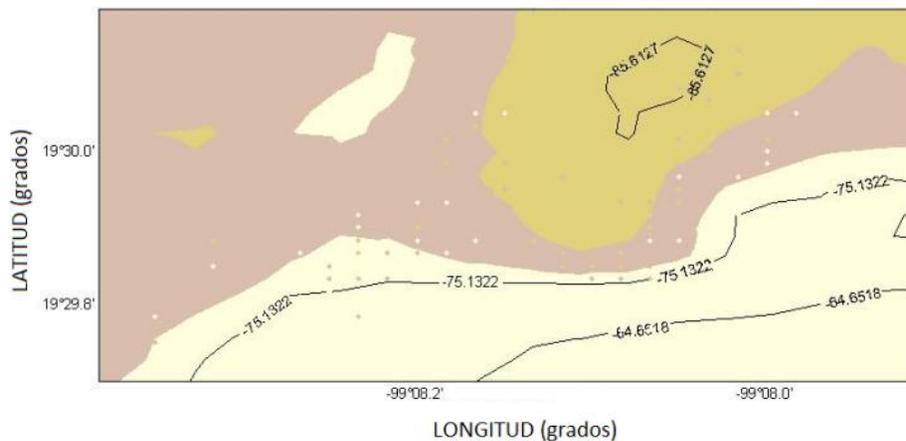
**Figura 9** Ajuste de Semivariograma teórico a experimental para 592 muestras

La eficiencia de la estimación se comprueba mediante el proceso de validación, consiguiendo que el error de aproximación  $Q$  este dentro de la región de aceptación como se muestra en la **Figura 10**.



**Figura 10** Procedimiento de validación para 592 muestras

Al tener una gran cantidad de muestras se logra que el área donde el mapa de cobertura es válido sea muy parecida a la superficie total de prueba como se muestra en la **Figura 11**.

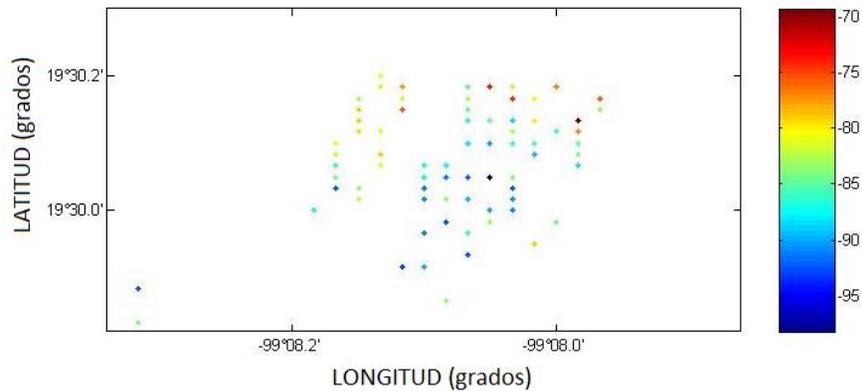


**Figura 11** Mapa de cobertura para 592 muestras

En el caso de que las muestras sean pocas, pero estén concentradas en una zona específica del área de medición, es posible obtener resultados confiables, pero únicamente dentro de dicho espacio, como se indica en la Figura 15, las coordenadas tienen incrementos menores, pues los datos proporcionados son suficientes para conocer únicamente el nivel de potencia en las

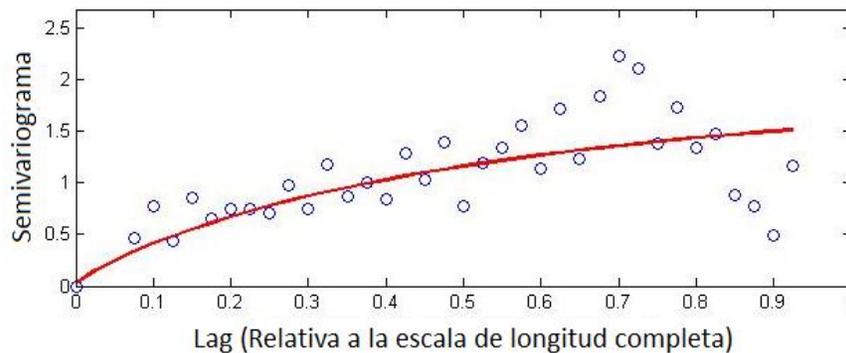
vecindades entre ellos. Localizar la Estación Base no es una labor sencilla, al igual que no lo es la interpretación de los mapas. Este caso se ilustra en las **Figuras 12 a 15**.

Para este caso se obtuvieron 120 muestras, con una potencia máxima de  $-69.5$  dBm y una mínima de  $-97.9$  dBm. La distribución de las muestras resulta más irregular como se exhibe en la **Figura 12**.



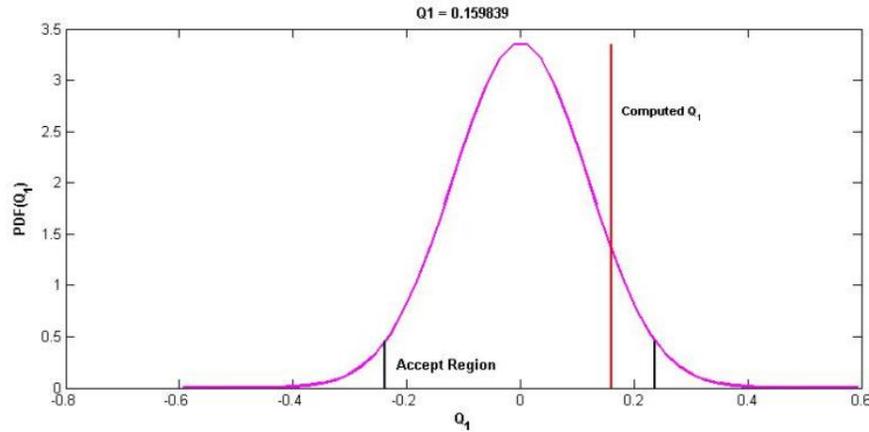
**Figura 12** Ubicación de 120 mediciones puntuales

Debido a la mayor distancia entre muestras la similitud entre ellas es menor y por tanto el ajuste al semivariograma experimental es de una mayor dificultad, como se exhibe en la **Figura 13**.



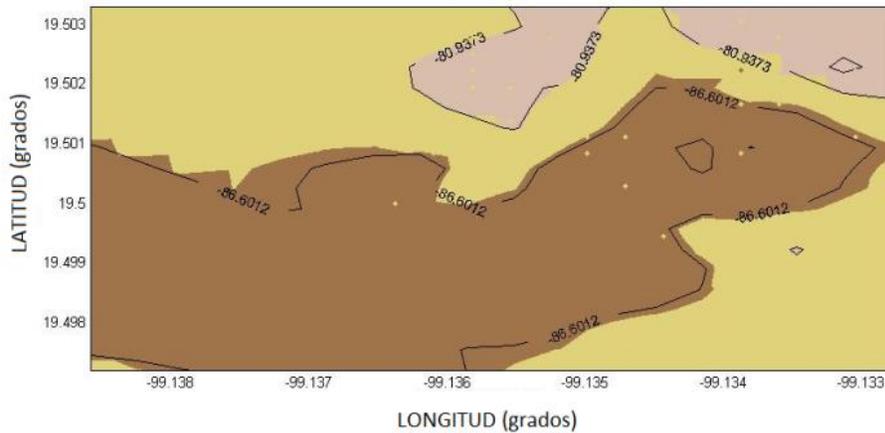
**Figura 13** Ajuste de Semivariograma teórico a experimental para 120 muestras

Sin embargo, el error de aproximación está dentro de la región de aceptación aunque es mayor que en el caso anterior, como se muestra en la **Figura 14**.



**Figura 14** Proceso de validación para 120 muestras

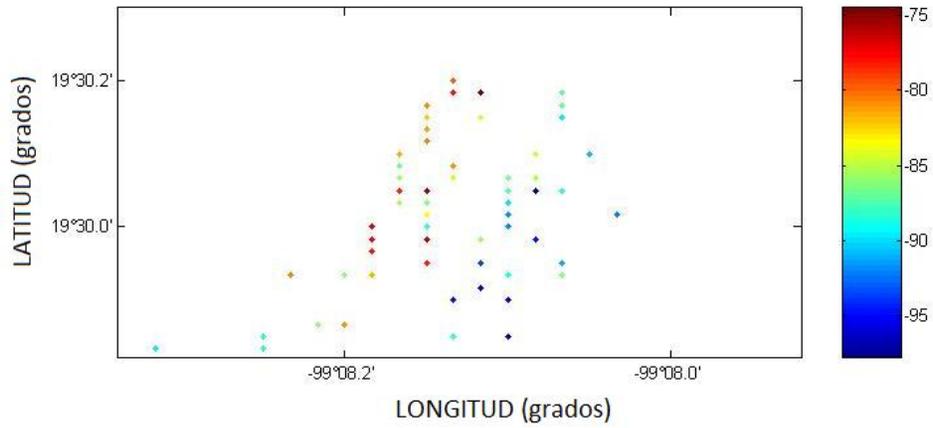
La superficie de validez de la interpolación, como era de esperarse, se reduce considerablemente con respecto a la superficie total de estudio, como se aprecia en la **Figura 15**, debido al menor número de muestras obtenido.



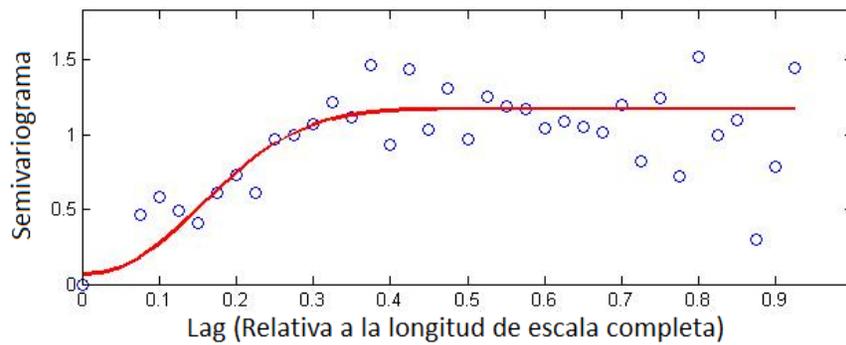
**Figura 15** Mapa de cobertura para 120 muestras

Para el tercer caso se contó con 87 mediciones cuya potencia mínima es de  $-97.634$  dBm mientras que la máxima es de  $-74.697$  dBm. La zona en la cual se distribuyen las muestras es mucho menor que el área de estudio total como se aprecia en la **Figura 16**. Lo que se ve reflejado en la forma del variograma experimental que se muestra en la **Figura 17**. No obstante el error de aproximación  $Q$  es mínimo, muy cercano a cero como se comprueba en la **Figura 18**. Esto se debe a que el intervalo de potencias es mucho menor que en los casos anteriores, por tanto la

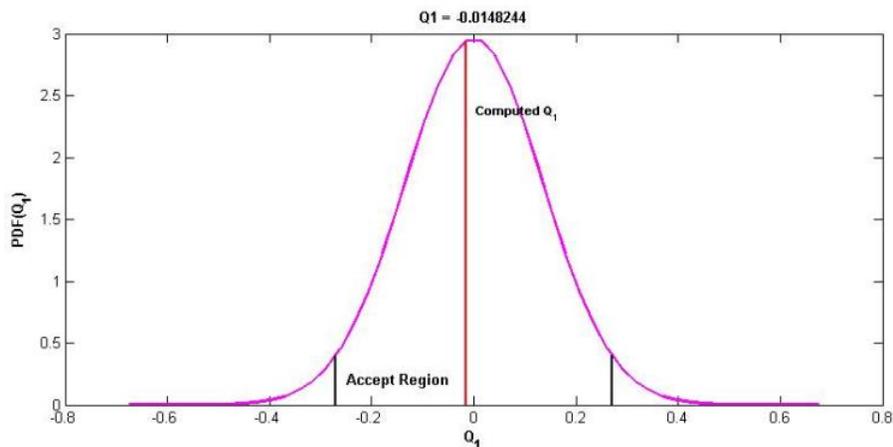
diferencia entre las potencias medidas en puntos adyacentes es menor disminuyendo la gama de valores posibles de potencia en cada interpolación.



**Figura 16** Ubicación de 87 mediciones puntuales

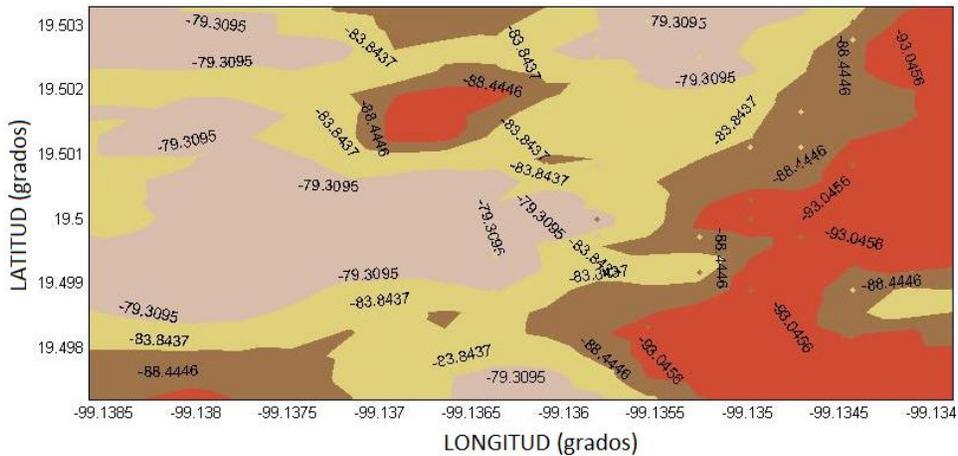


**Figura 17** Ajuste de Semivariograma teórico a experimental para 87 muestras



**Figura 18** Procedimiento de validación para 87 muestras

Cuando el rango de potencias es tan pequeño, como en este caso, es posible apreciar los cambio en el nivel de la misma con una mayor claridad, pero en consecuencia el área de validez de la estimación será mucho menor, como se refleja en las escalas de los ejes en la **Figura 19**.



**Figura 19** Mapa de cobertura para 87 muestras

Finalmente, cuando los datos son apenas suficientes para generar un variograma teórico y la separación entre ellos es grande, el error de aproximación será mayor, o en ocasiones no estará en el rango de aceptación. Cuando las mediciones se realizan a una gran distancia del Nodo B pueden presentarse este tipo de problemas, en consecuencia el análisis del patrón de radiación será más complicado.

## Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que el método de Krige resulta óptimo para el análisis de potencia en WCDMA, ya que a partir de datos puntuales se pueden generar mapas continuos de cobertura mediante un proceso de interpolación que predice los valores de potencia en los lugares donde no se tiene información con base en los valores adyacentes. Para obtener mapas de cobertura confiables es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones

- ✓ Asegurarse de tener un número suficiente de mediciones, el cual estará en función de la superficie total a estudiar y la variabilidad de los niveles de potencia.

- ✓ Es decir, si los niveles de potencia son diversos, tomar muestras menormente espaciadas permitirá que exista una mayor similitud entre ellas y se asegura que la interpolación será más confiable en una superficie muy parecida a la total.
- ✓ Aunque es posible validar un mapa de cobertura con un menor número de muestras, esto dependerá de las condiciones de operación del Nodo B.
- ✓ Si el nivel de potencia es muy variable en la zona de medición se deben tomar mediciones lo más cercanamente posible, asegurándose que la información de posición cambie, de lo contrario solamente se tendrán muchos valores de potencia en el mismo punto y resultará información innecesaria para el proceso de estimación.
- ✓ Si los niveles de potencia no sufren cambios drásticos se podrá hacer una estimación eficiente sin tomar un gran número de muestras.
- ✓ Para optimizar el tiempo de cálculo, se debe ordenar de manera descendente o ascendente los datos primeramente en base a la información de longitud, posteriormente dependiendo de la latitud y finalmente en base a los niveles de potencia. Tomando el mismo orden para todas las columnas en las que se organiza la información. Ya que el semivariograma se obtendrá en base a comparaciones entre pares de puntos vecinos y entre menor sea la diferencia entre ellos más limitada será la gama de posibles valores de potencia interpolados entre dichos puntos, consiguiendo una estimación más eficiente.
- ✓ Las mediciones a una altura entre 1.1 y 1.4 metros ya que es la altura promedio en la que los usuarios portan los equipos móviles.

## Referencias

- [1] Tachikawa, Keji, WCDMA Mobile Communications System, John Wiley & Sons, 2002.
- [2] Laiho Jaana and Wacker Achim, Novosad Tomás, Radio Network Planning and Optimisation for UMTS, 2th. Edition, John Wiley and Sons, 2006.
- [3] Ibáñez Gual María Victoria y Simón Vidal Amelia, Modelos Estadísticos Espacio-Temporales en Perimetría, Tesis Doctoral, Departamento de Matemáticas, Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, Universidad Jaume 1, 2003.
- [4] Tesis para obtener el grado de M. en C. “Análisis de redes WCDMA”, Ing. José Iván Zamudio Castro, SEPI-ESIME-IPN, Octubre 2010.
- [5] Practical Tips on WCDMA Measurements, Application Note No. 11410-00378, Rev. B Printed in United States 2008-09.