



GOBIERNO
DE COLOMBIA



GEODESIA



Subdirección de Geografía y Cartografía

Análisis geoestadístico para la predicción de valores de anomalías de Bouguer simple

Francisco Sarmiento,
Anderson Leal, Samuel Pérez

GIT Geodesia

Contenido

1. Introducción / Motivación
2. Objetivos
3. Materiales
4. Metodología
5. Resultados
6. Conclusiones

1. Introducción / Motivación

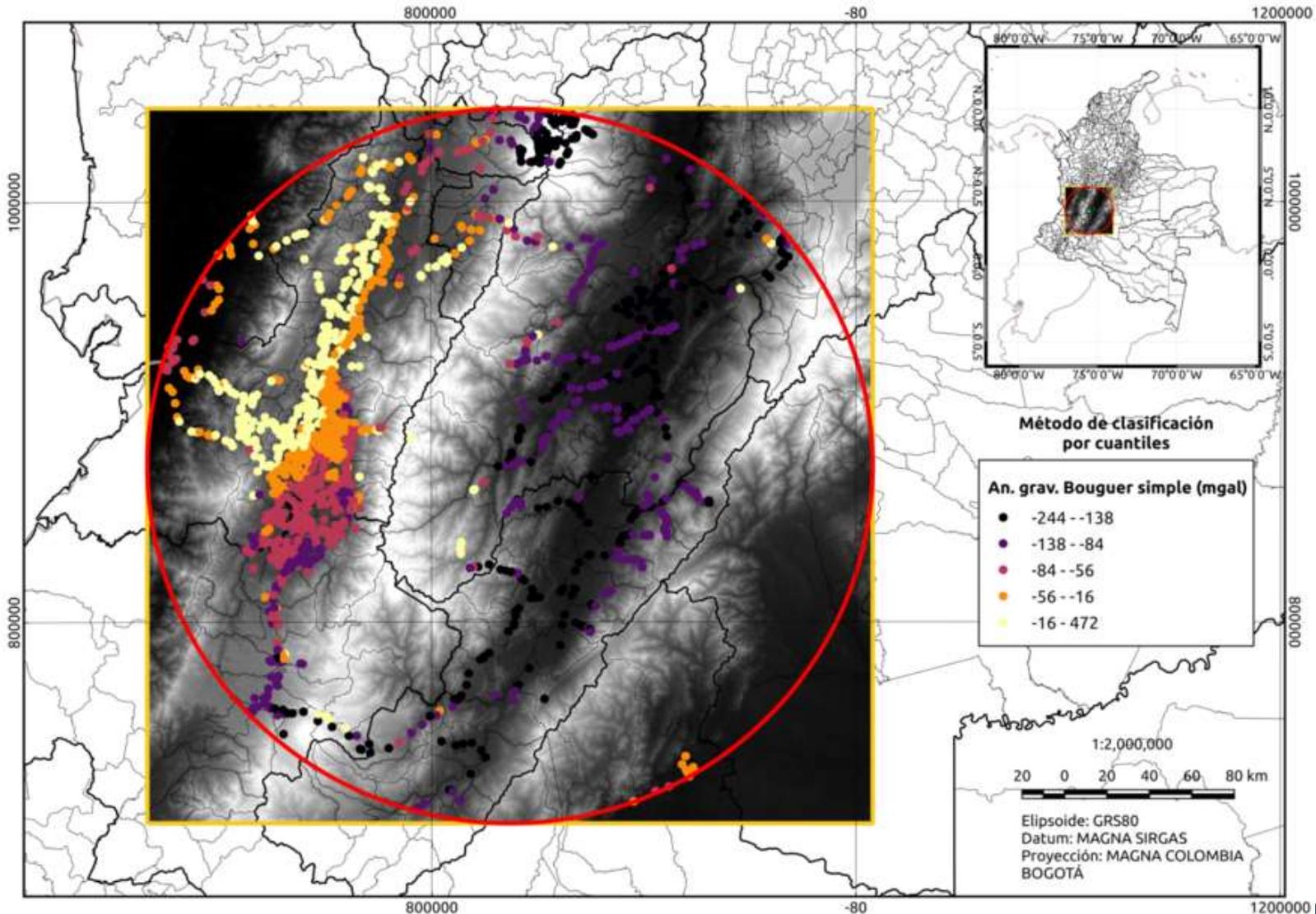
Los modelos de geoide gravimétricos suelen ser susceptibles de poseer sistematismos y deformaciones debido a diferentes factores dentro de los cuales se cuentan una mala cobertura de anomalías de gravedad sobre la zona de cálculo y una interpolación deficiente del campo de gravedad. De allí se desprende la importancia de un análisis cuidadoso para la predicción de valores de anomalías de gravedad a una malla regular donde se preste especial atención a los valores de varianza de la predicción.

2. Objetivos

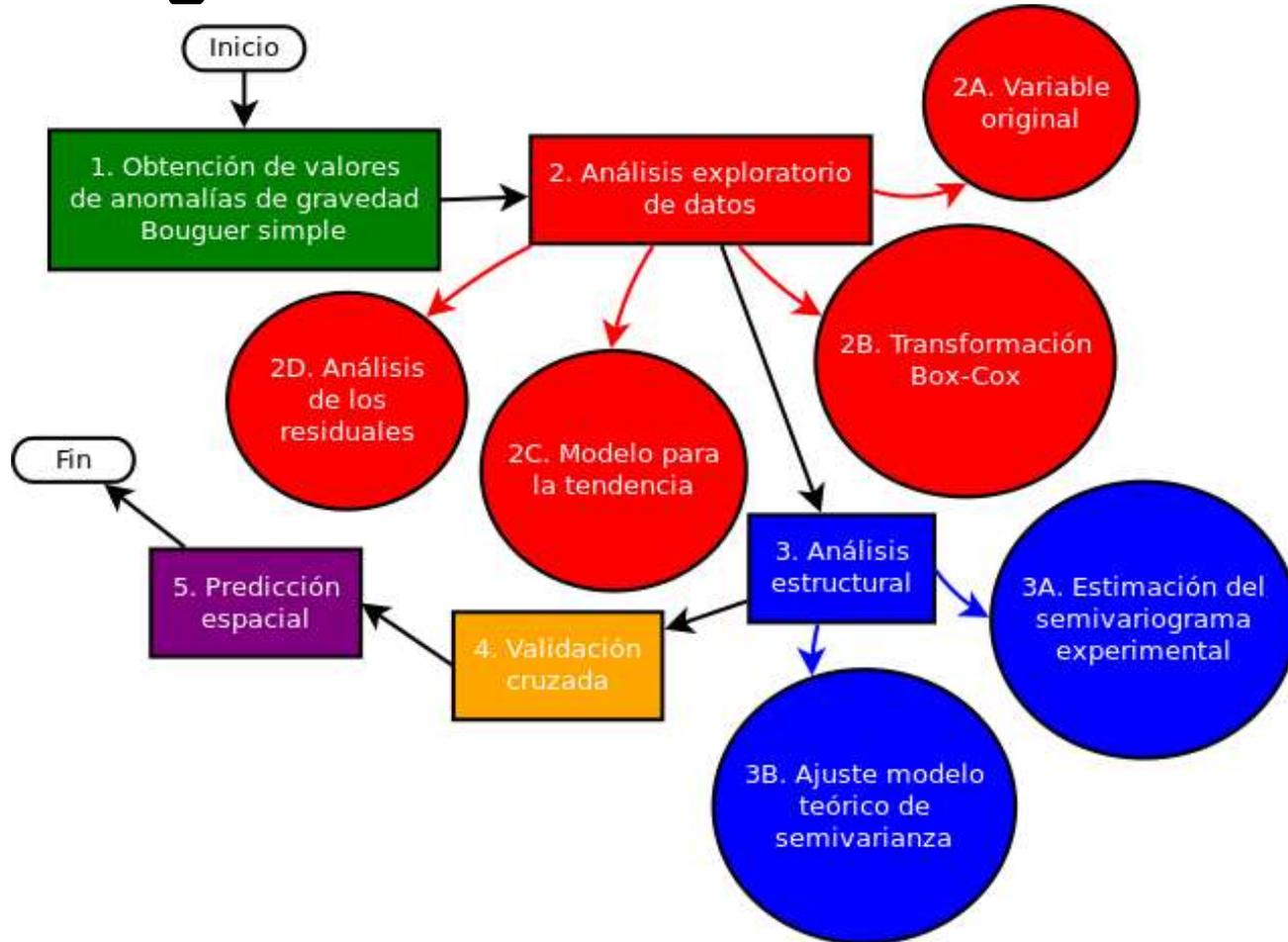
- Evaluar cuál es la combinación de modelo teórico de semivariograma y método de estimación de parámetros que mejor se ajusta al semivariograma empírico de la variable regionalizada anomalía de gravedad Bouguer simple.
- Obtener valores de predicción de la variable regionalizada.
- Obtener valores de varianza de la predicción de la variable regionalizada.

3. Materiales

- 1662 observaciones provenientes del IGAC, ECOPETROL, SGC y BGI distribuidas de manera irregular sobre una zona de estudio representativa de la alta variabilidad en alturas de Colombia.
- Modelo digital de elevaciones SRTM con 1" de resolución espacial y transformado a alturas ortométricas con los valores de ondulación geoidal del modelo EGM2008.
- Lenguaje de programación R sobre el IDE RStudio.



4. Metodología



4.1 Obtención de valores de anomalías de Bouguer simple

Con los insumos mencionados se calcularon los valores de gravedad normal, reducción aire libre, placa de Bouguer, anomalía de gravedad aire libre y finalmente se obtuvieron los valores de anomalías de gravedad Bouguer simple.

4.2 Análisis exploratorio de datos

En seguida, se analizó el comportamiento de la variable regionalizada anomalía de gravedad Bouguer simple, para evaluar que cumpliera las condiciones de estacionariedad y también se analizó su tendencia espacial. Debido a que el comportamiento de la variable no es de un proceso estacionario, fue necesario aplicar una transformación Box-Cox y trabajar con los residuales de un modelo cuadrático aplicado a dicha transformación.

Transformación Box-Cox $\rightarrow dgbs_tBC = (dgbs^{0.64} - 1)/0.64$

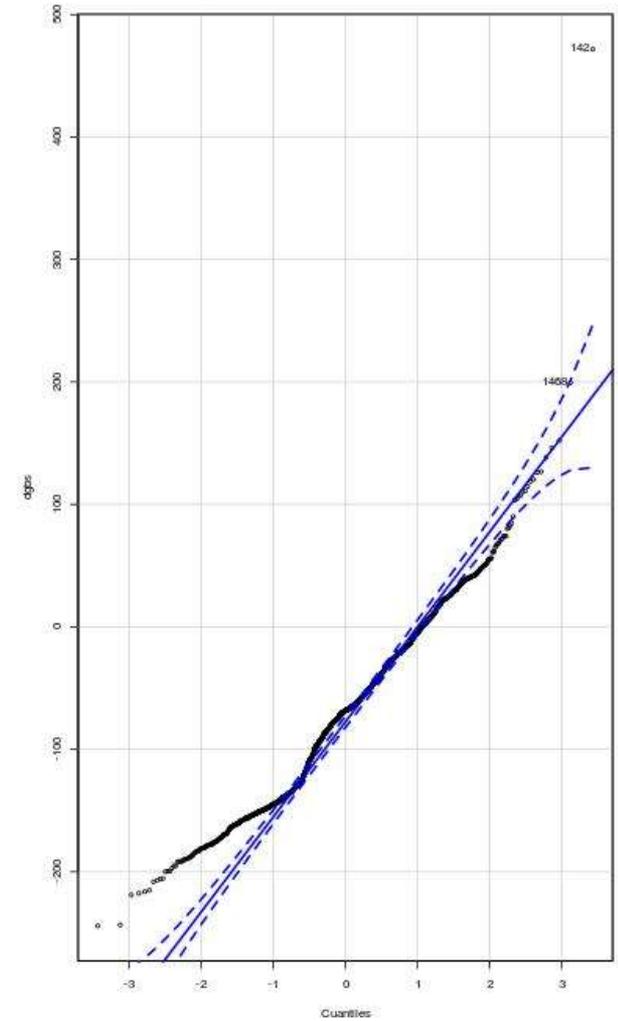
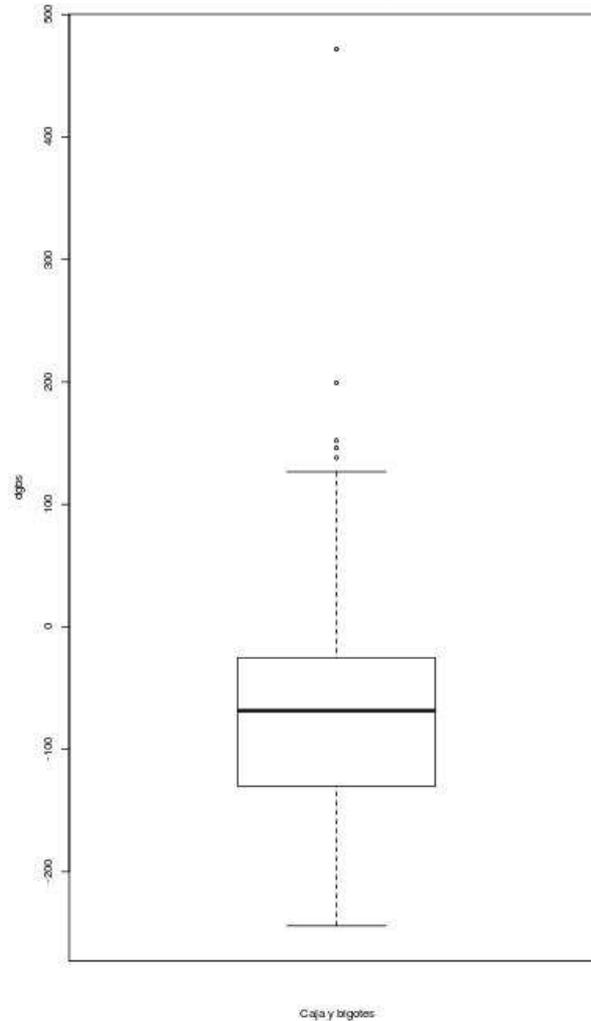
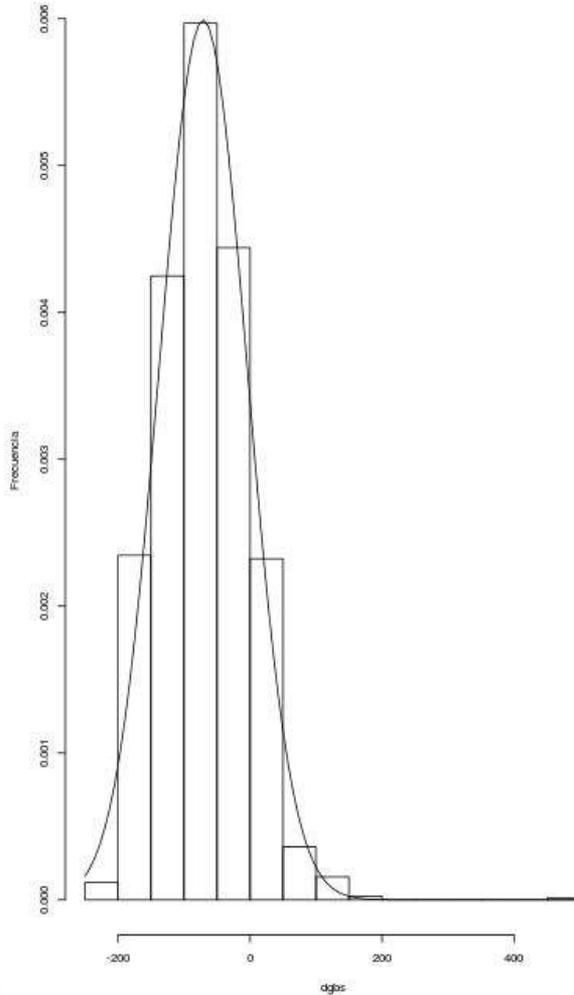
Modelo de regresión $\rightarrow dgbs_tBC = -4.9e+02 + 2.5e-04x + 1.0e-03y - 6.6e-10xy + 1,4e-10x^2 - 2,4e-10y^2 + 6.68$

Tabla 1. Resumen estadístico de las variables bajo análisis.

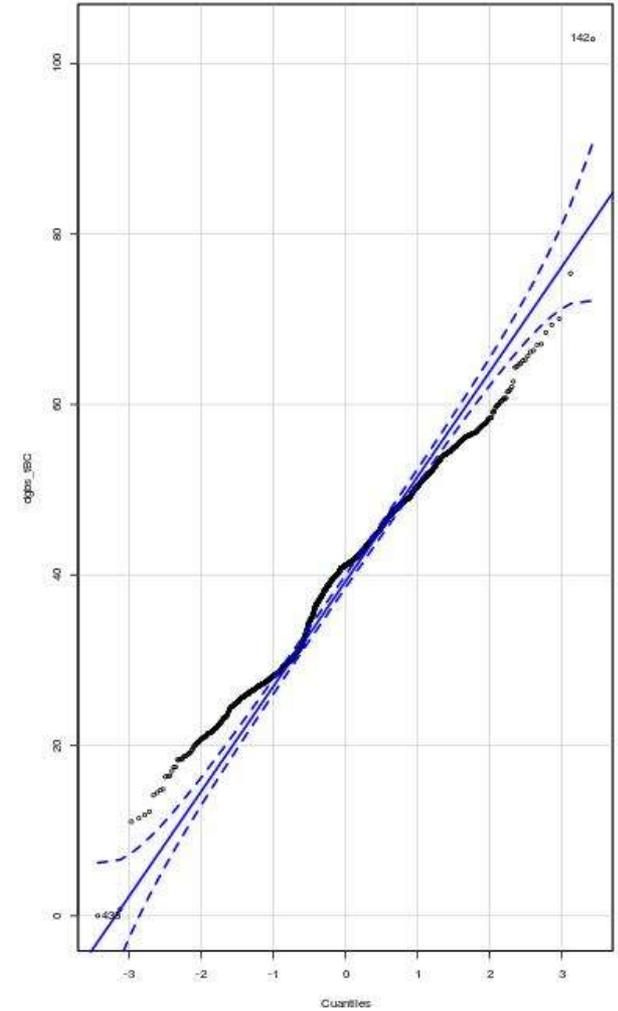
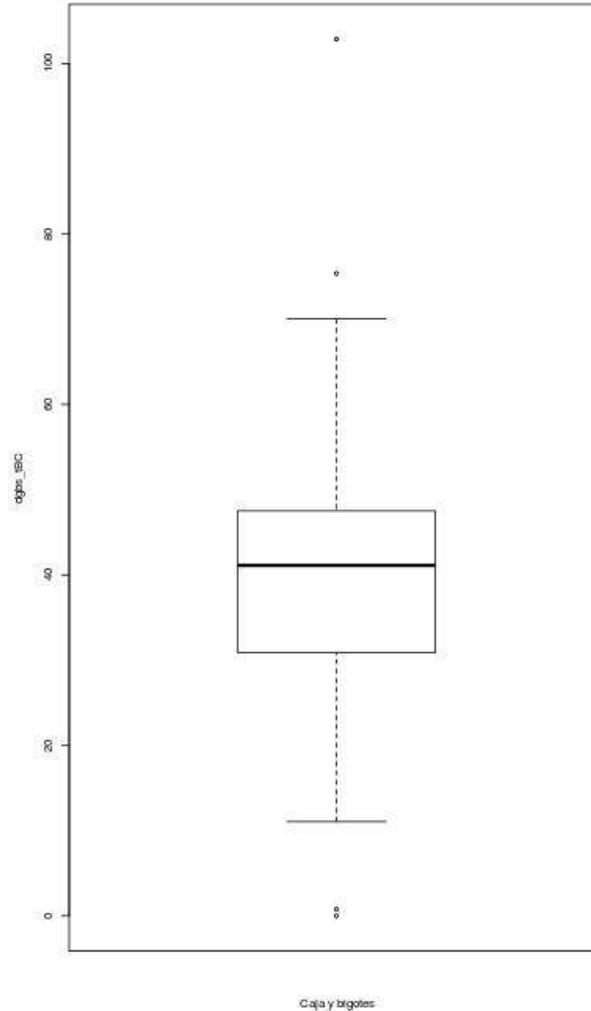
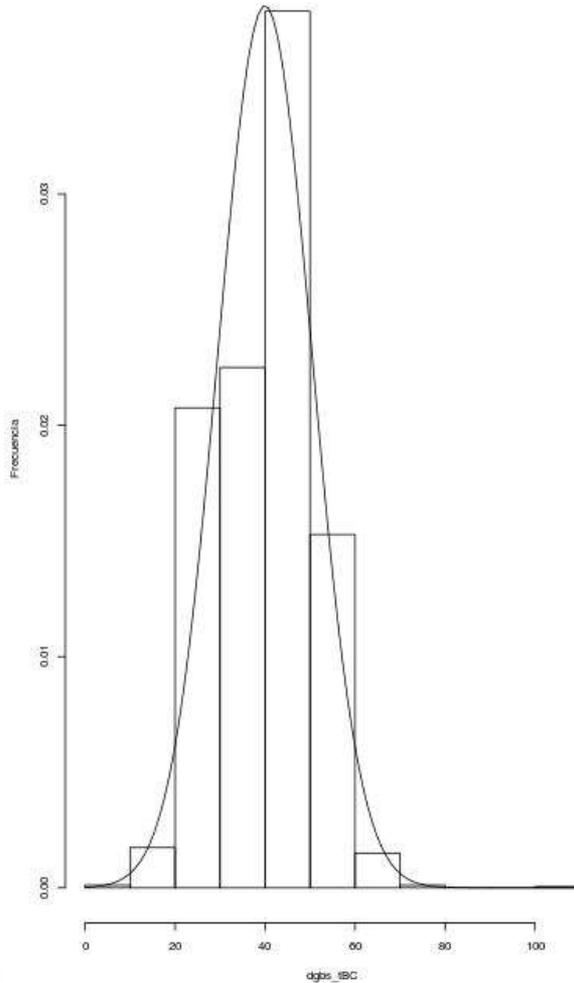
	x	y	dgbs	dgbs_tBC	dgbs_tBCr
Min	673784,54	711811,29	-244,21	0,00	-30,58
Max	968276,96	1043781,54	471,69	102,86	62,19
Prom	790548,52	901869,52	-70,98	39,98	0,00
DesvEst	68777,53	71179,08	66,59	10,46	6,67
Asimetria	0,66	-0,02	0,54	0,01	0,86
Kurtosis	2,23	2,71	5,19	3,36	11,16
CoefVarMed(%)	4,46	5,06	-73,10	18,49	-716,53

x,y: coordenadas planas proyectadas MAGNA COLOMBIA BOGOTÁ. dgbs: anomalía de gravedad Bouguer simple. dgbs_tBC: dgbs con transformación Box-Cox dgbs_tBCr: residuales de dgbs_tBC tras eliminar su tendencia espacial.

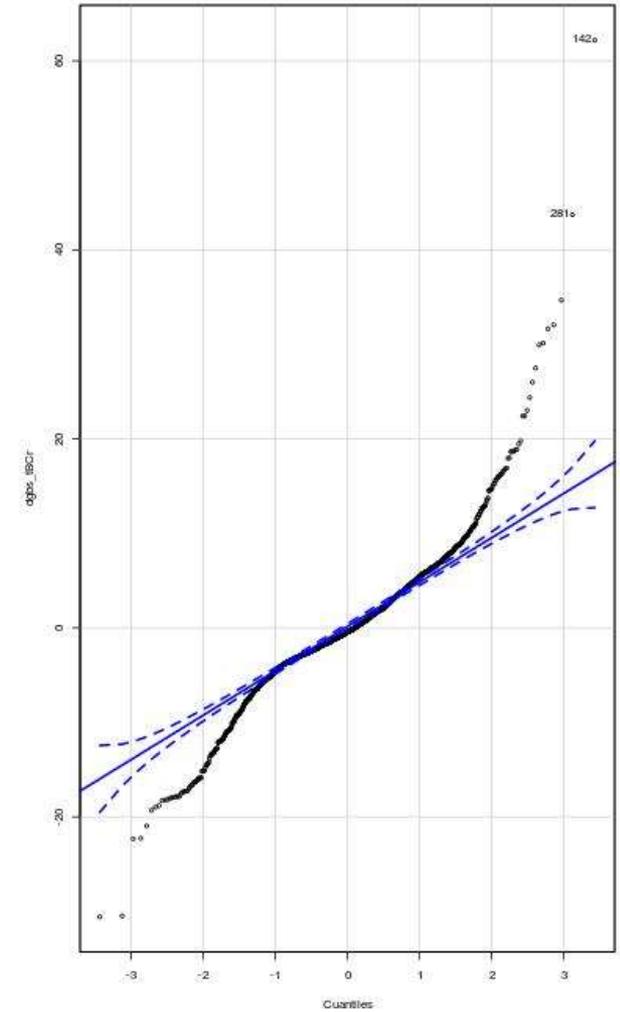
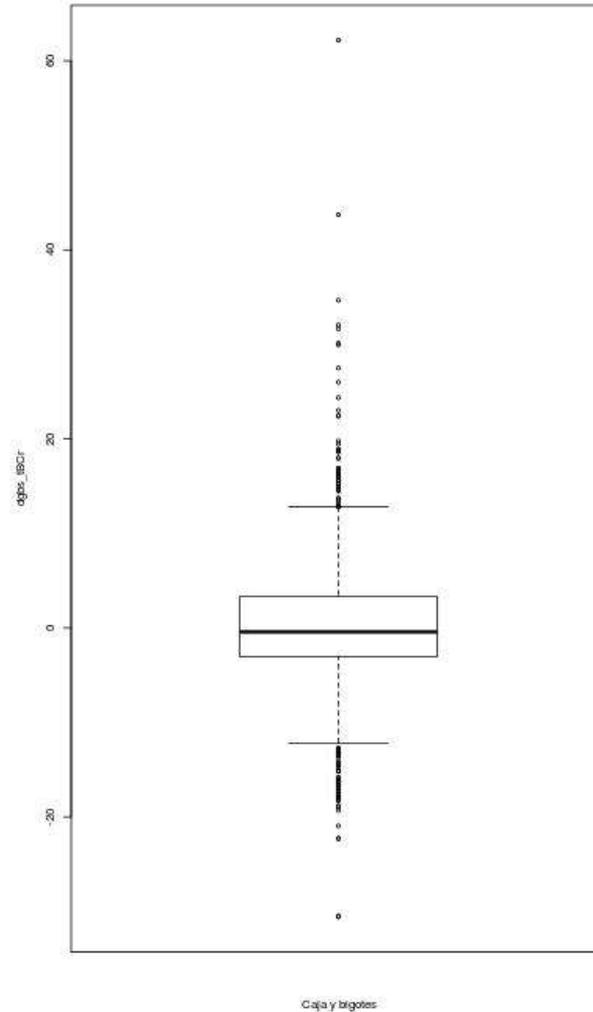
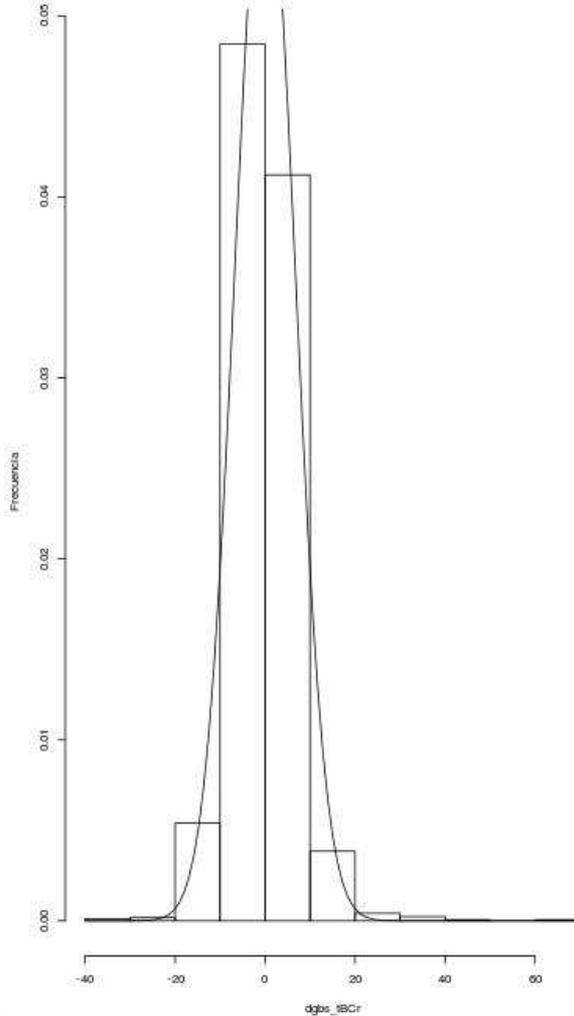
Histograma, Box-Plot y QQ-Plot de dgbs



Histograma, Box-Plot y QQ-Plot de dgbs_tBC



Histograma, Box-Plot y QQ-Plot de dgbs_tBCr

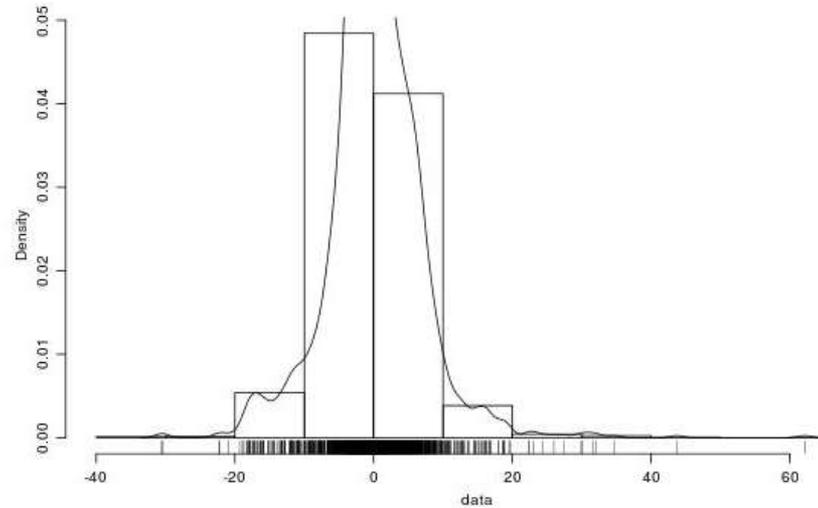
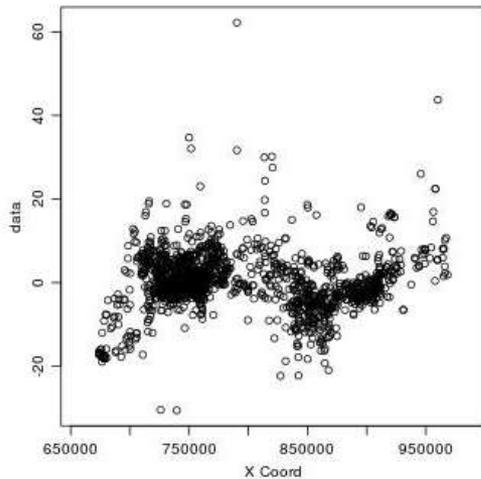
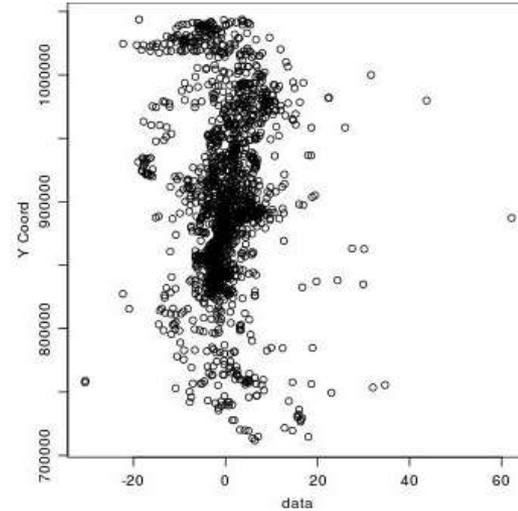
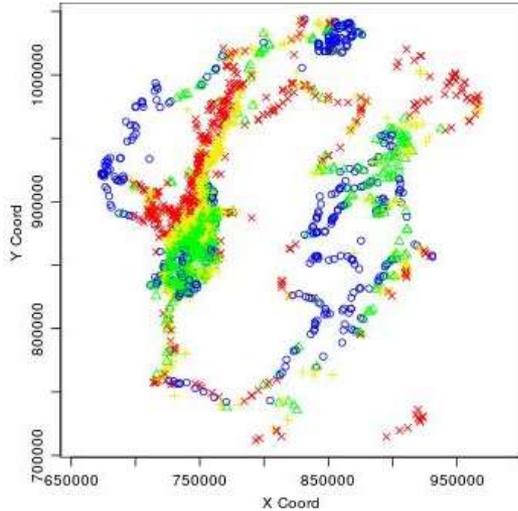


4.3 Análisis estructural

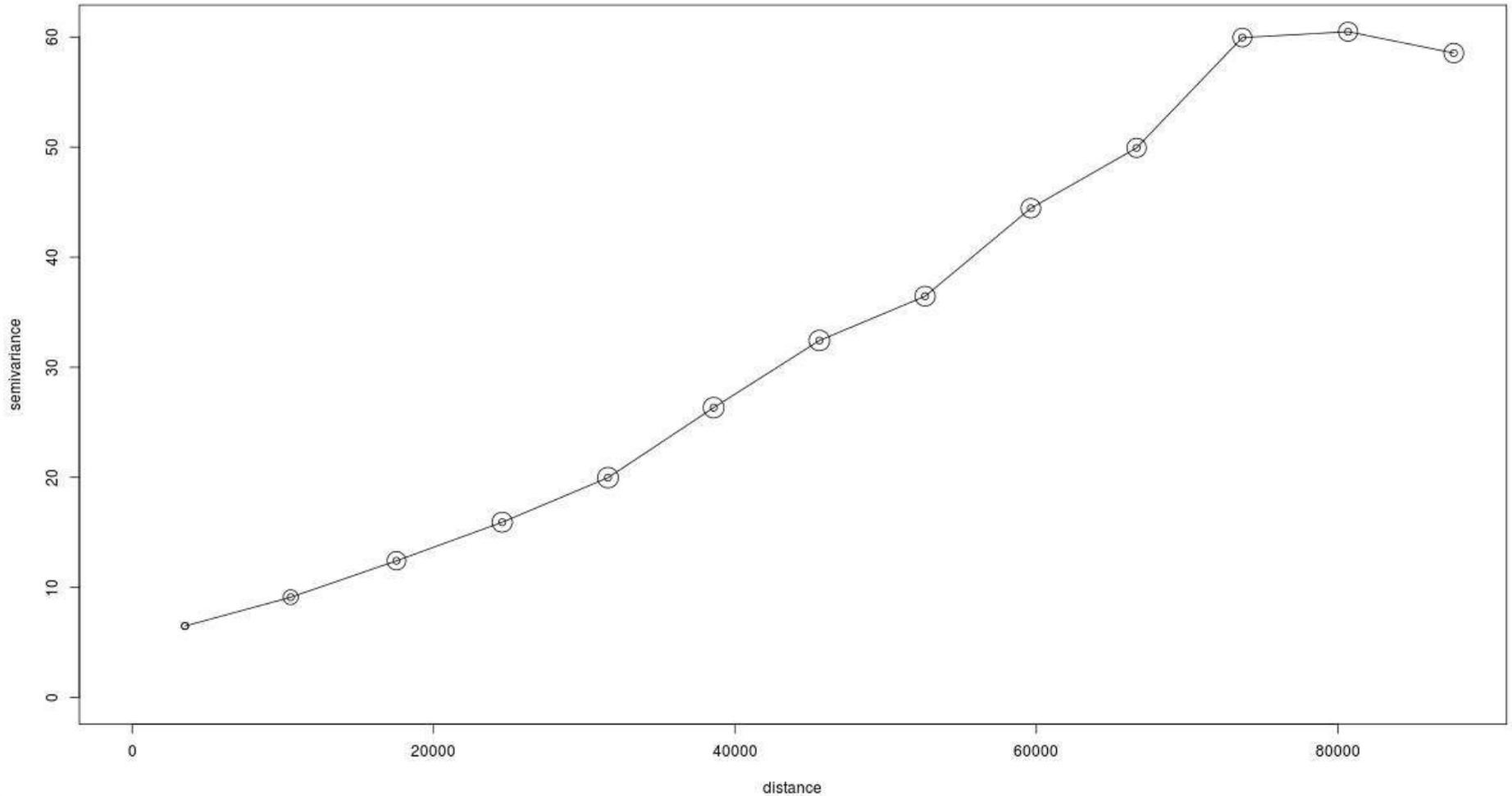
Con los valores de residuales se estimó el semivariograma experimental con el que se determinaron parámetros de *sill* (*silla*), *range* (*rango*) y *nugget* (*efecto pepita*). En seguida, se evaluaron los modelos teóricos de los semivariogramas exponencial, esférico y gaussiano con parámetros estimados por mínimos cuadrados ordinarios (*OLS*), mínimos cuadrados ponderados por el número de pares (*WLS-npairs*) y mínimos cuadrados ponderados por el método de Cressie (*WLS-cressie*).

sill	range	nugget
48,39	29233,19	6,05

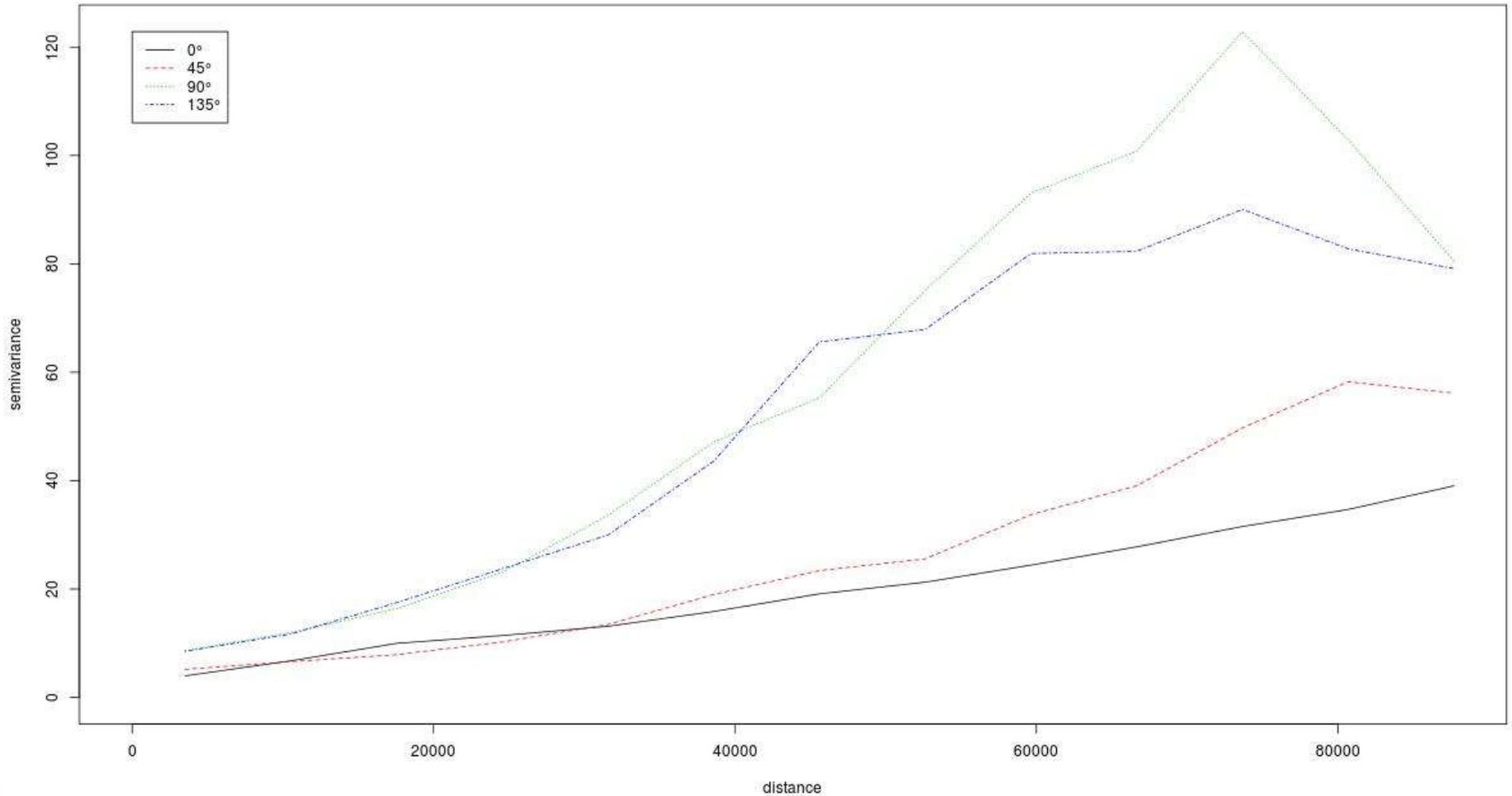
Gráfico exploratorio espacial de dgbs_tBCr



Semivariograma empírico de dgbs_tBCr



Semivariograma direccional empírico de dgbs_tBCr

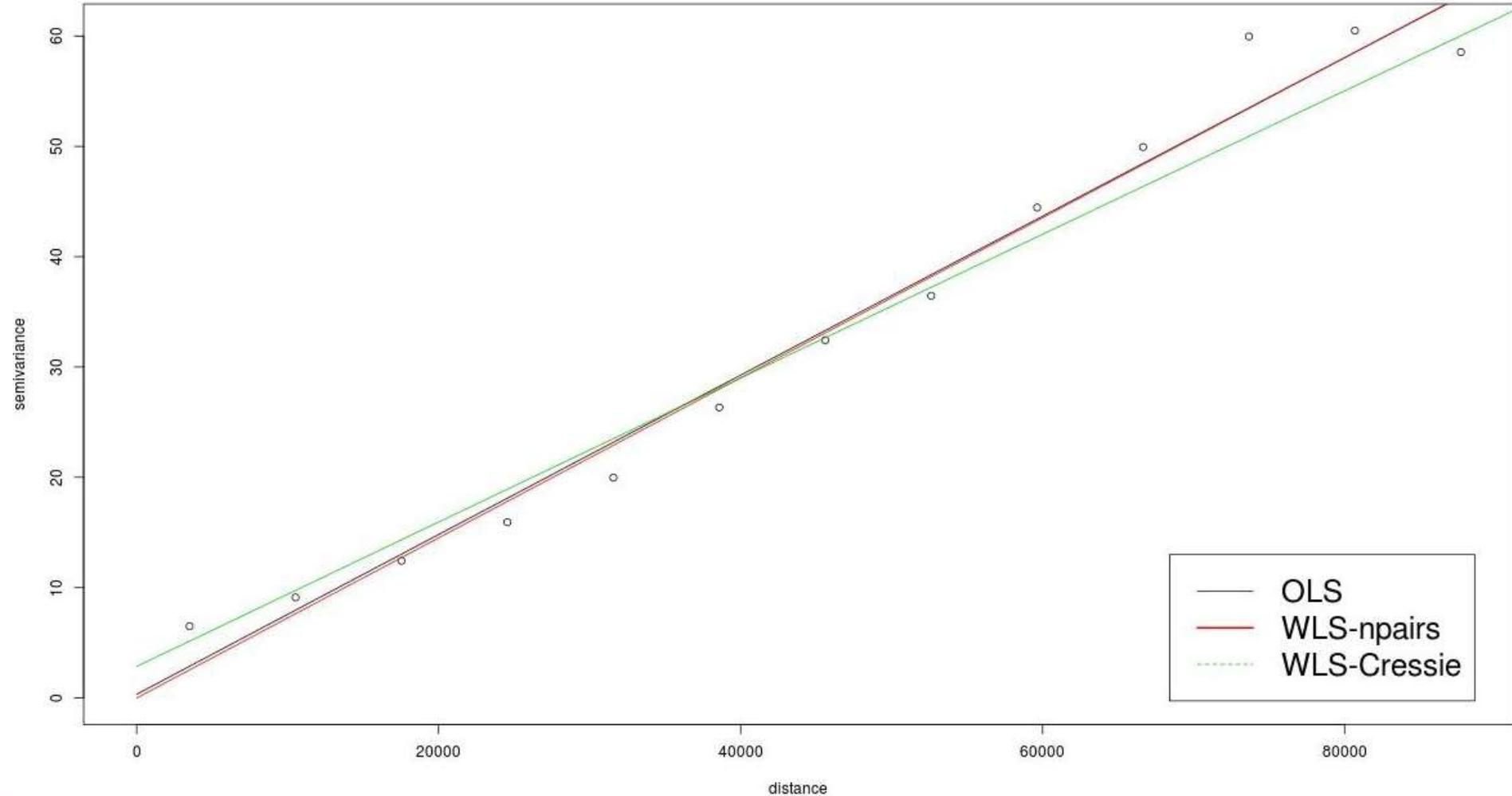


4.4 Validación cruzada

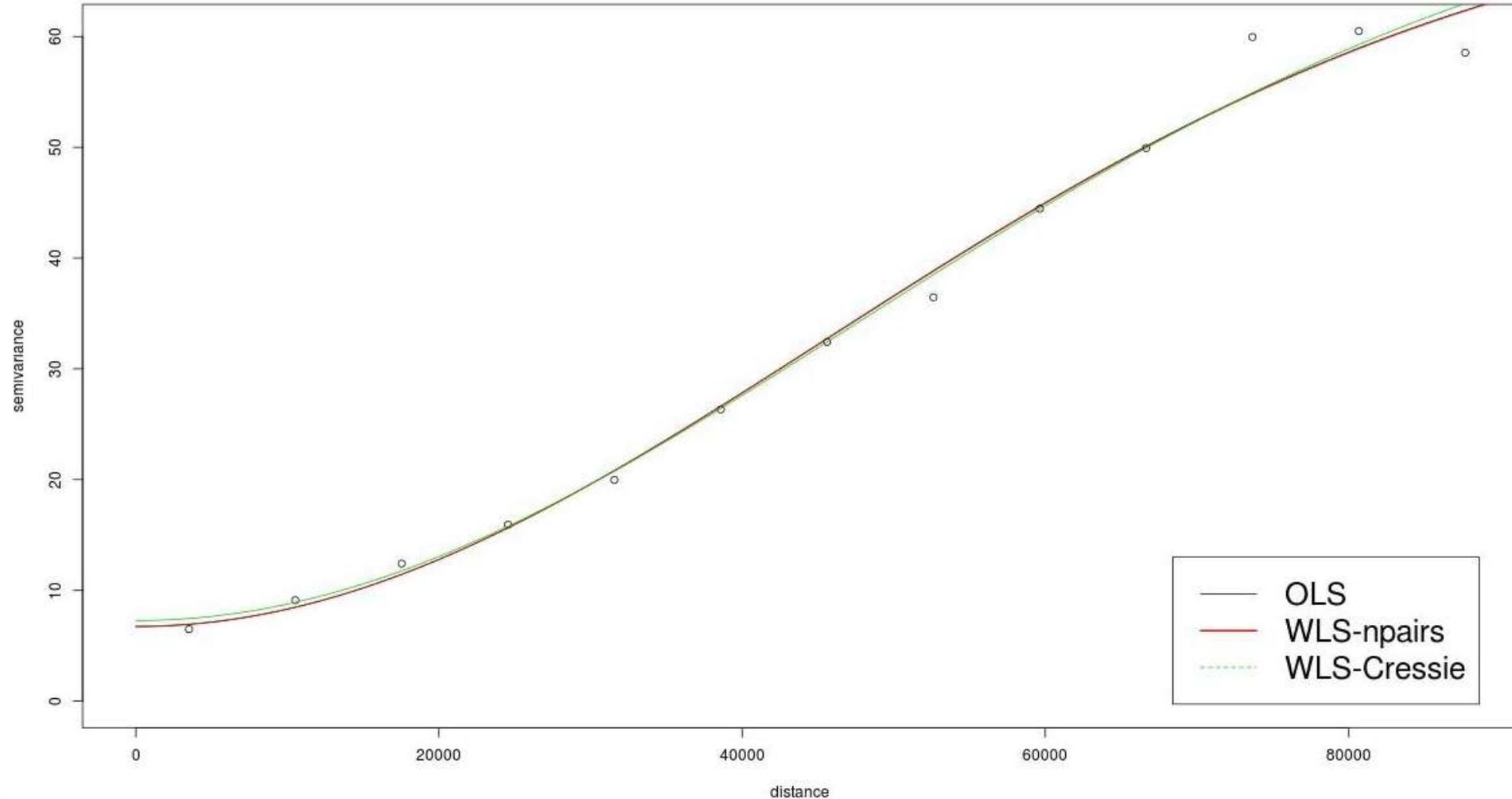
Para seleccionar el mejor modelo de correlación espacial se pasó a evaluar cuál generaba mejores predicciones del atributo en estudio a través de la técnica de validación cruzada.

Modelo	Método	Error
Exponencial	OLS	4,1623
	WLS-npairs	7,0781
	WLS-cressie	1,1933
Esférico	OLS	3,9416
	WLS-npairs	7,0797
	WLS-cressie	1,1906
Gaussiano	OLS	1,6409
	WLS-npairs	1,6289
	WLS-cressie	1,4857

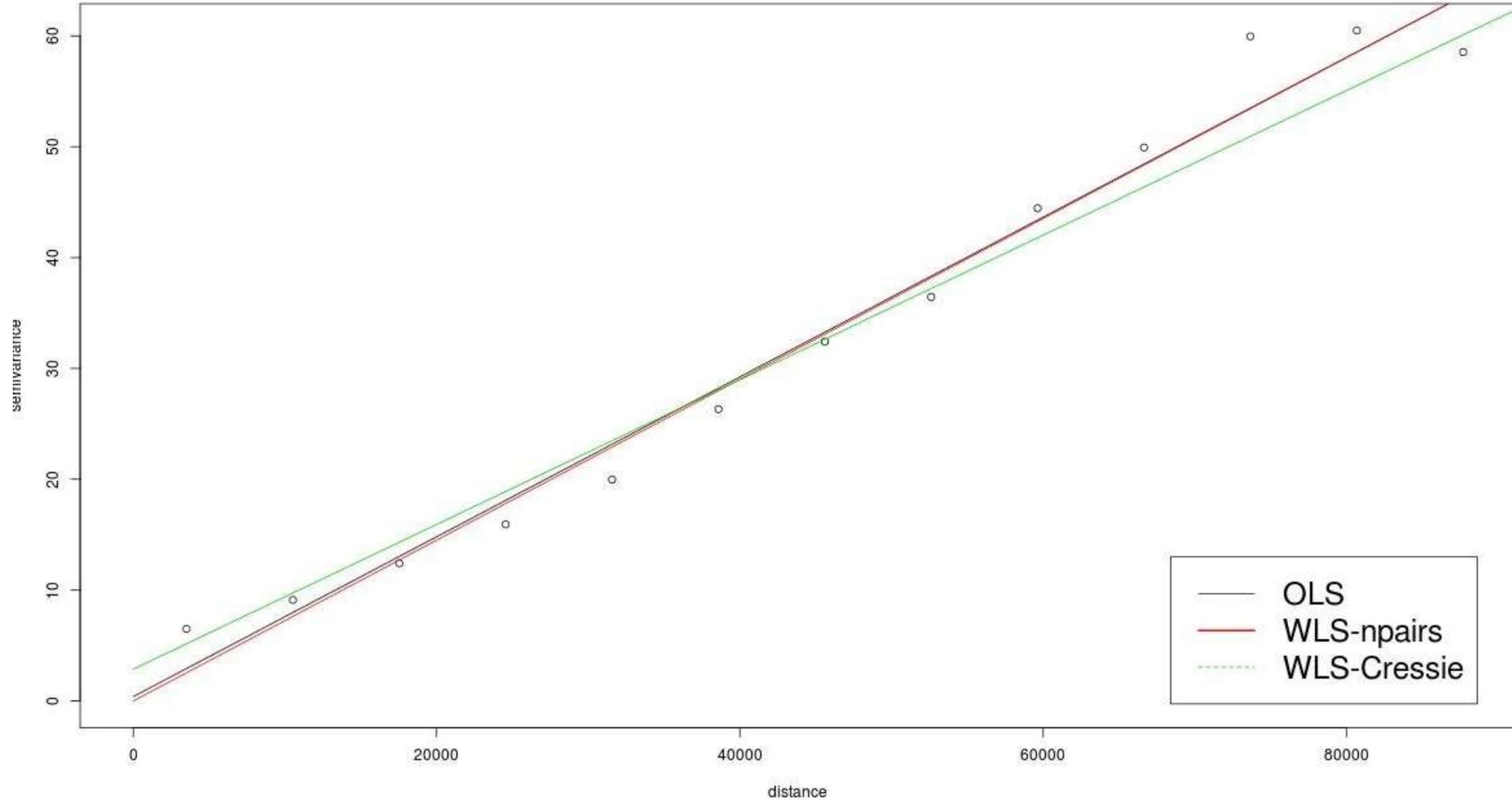
Semivariograma exponencial



Semivariograma gaussiano



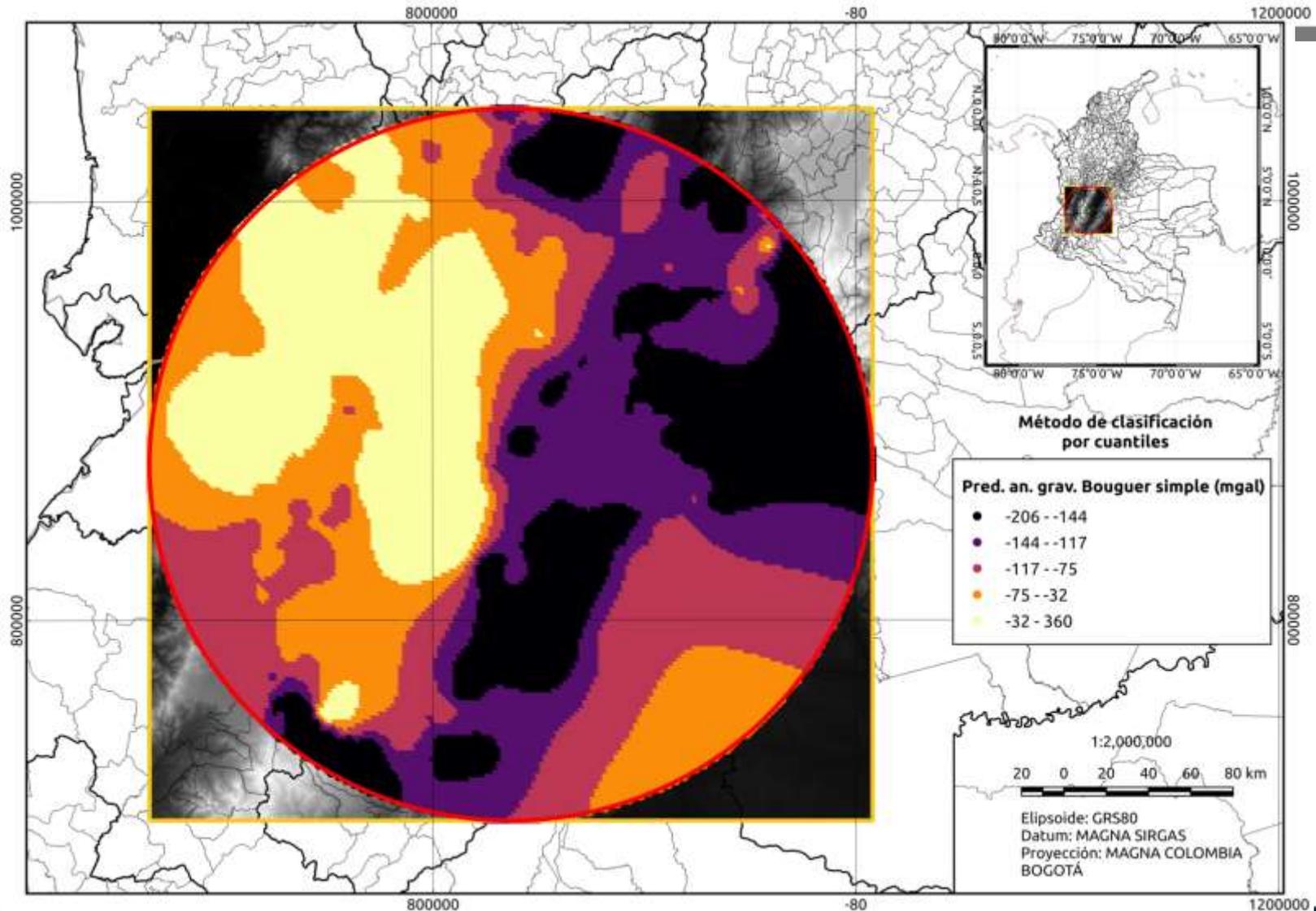
Semivariograma esférico

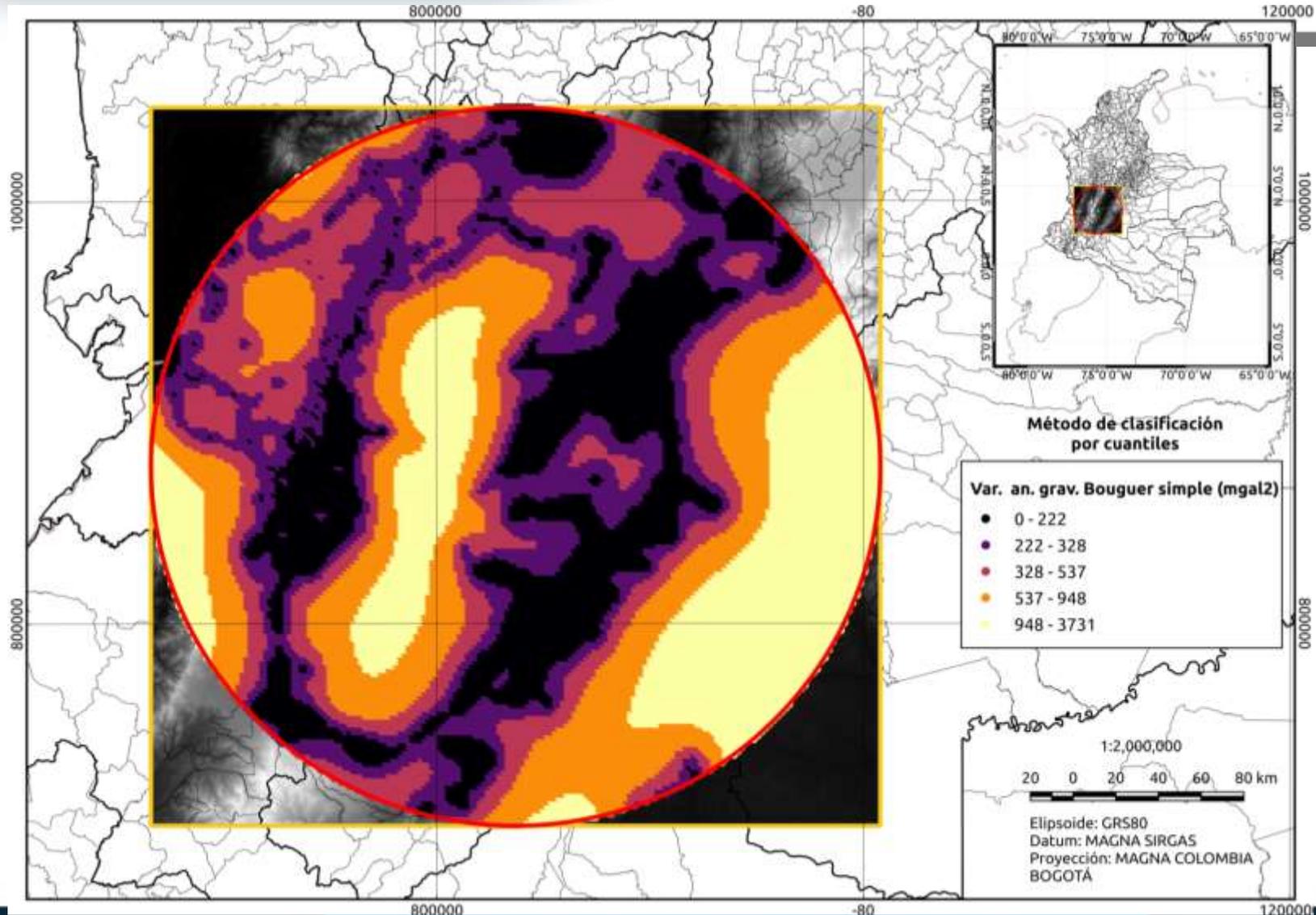


4.5 Predicción espacial

La combinación de modelo y método que presenta un menor error de predicción es la del modelo esférico con el método *WLS-cressie*, que fue el que finalmente se utilizó en la predicción espacial empleando *Kriging Universal* el cual permite la inclusión del modelo de regresión cuadrático utilizado para remover la tendencia espacial. Dicha predicción espacial se efectuó sobre un grillado de 1'x1' con 26725 puntos que cubren toda la zona de estudio.

5. Resultados





6. Conclusiones

- Los valores de anomalías de Bouguer simple presentan una alta variabilidad que disminuye un poco aplicando una transformación de Box-Cox, pero se dispara cuando se elimina la tendencia espacial a través del modelo cuadrático empleado.
- Esto indica que quizás sea más apropiado utilizar otros acercamientos para disminuir la variabilidad y la tendencia espacial, tal como la transformación del espacio geográfico. De otra forma, los valores de predicción perderán precisión y la varianza del error será alta, como es el caso de los resultados acá obtenidos.

6. Conclusiones (continuación)

- A pesar de que es importante prestarle atención a los métodos de predicción espacial, es también muy importante disponer de observaciones de gravedad distribuidas de manera uniforme sobre los territorios.
- El análisis se puede ampliar considerando otros modelos teóricos de semivariogramas junto con otros métodos para estimar los parámetros de los mismos, los cuáles podrían llegar a generar predicciones más precisas.



GRACIAS