

# **Análisis Espacial de P1002B\_TOTAL en Puno mediante Kriging Gaussiano**

*Informe Técnico*

Departamento de Puno, 2014–2024

Fecha: 17 de Septiembre de 2025

# 1 Introducción

Este informe presenta el análisis espacial de la variable `P1002B_TOTAL` en el departamento de Puno, utilizando técnicas de interpolación mediante kriging gaussiano. El análisis incluye la carga y preparación de datos, variografía, validación cruzada, interpolación espacial y visualización de resultados. Los datos abarcan el período 2014–2024 y se procesaron utilizando el software R con librerías especializadas en análisis geoespacial.

## 2 Preparación de Datos

### 2.1 Carga de Datos

- **Fuente de datos:** Archivo CSV (`datos_gauss_final.csv`) con 15,619 observaciones y 6 columnas: `ANIO`, `CCPP`, `NOMBREPV`, `CCDI`, `NOMBREDI`, `P1002B_TOTAL`.
- **Shapefile:** Archivo de distritos de Perú (`DISTRITOS.shp`), filtrado para incluir solo los 110 distritos del departamento de Puno.

### 2.2 Procesamiento

- Filtrado de datos válidos (`P1002B_TOTAL` no nulo y mayor a 0): 12,057 observaciones.
- Creación del código `UBIGEO` concatenando `CODDEP` (“21” para Puno), `CCPP` y `CCDI`.
- Agregación por distrito, calculando el promedio de `P1002B_TOTAL` por `UBIGEO`: 108 distritos con datos.
- Unión con geometrías del shapefile mediante `UBIGEO`, resultando en 108 distritos con información espacial.

### 2.3 Transformación Espacial

- Proyección a sistema UTM Zona 19S (`+proj=utm +zone=19 +south +datum=WGS84 +units=m +no_defs`).
- Cálculo de centroides para cada distrito y extracción de coordenadas UTM.
- Creación de un objeto `SpatialPointsDataFrame` con 108 puntos para el análisis de kriging.

## 3 Análisis Variográfico

### 3.1 Variograma Empírico

- Distancia máxima considerada: 152.03 km (un tercio del diámetro del área de estudio).
- Variograma empírico calculado con 15 intervalos de distancia, mostrando la semi-varianza en función de la distancia.

### 3.2 Ajuste del Modelo Gaussiano

- Parámetros iniciales:
  - Nugget: 126,512.4
  - Sill parcial: 719,738,250
  - Rango: 50,675.26 m
- Modelo ajustado:
  - Nugget: 141,022,271
  - Sill parcial: 294,280,168
  - Rango: 475.18 m

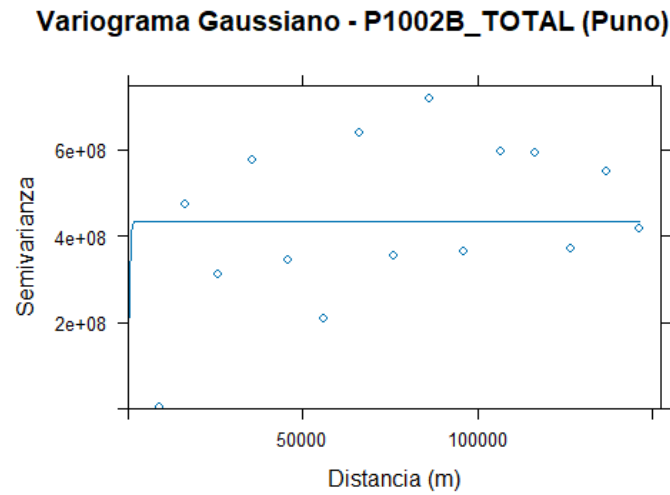


Figure 1: Variograma empírico y modelo gaussiano ajustado para P1002B\_TOTAL en Puno.

## 4 Validación Cruzada

Se realizó una validación cruzada de tipo “leave-one-out” para evaluar el desempeño del modelo de kriging. Las métricas obtenidas son:

Métrica	Valor
MAE	6,868.819
RMSE	21,365.23
ME	0
$R^2$	1

Table 1: Métricas de validación cruzada del modelo de kriging.

## 5 Interpolación Kriging

### 5.1 Grilla de Predicción

- Creación de una grilla de predicción con celdas de  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ , restringida al área de Puno.
- Total de puntos en la grilla: 671.

### 5.2 Resultados de Kriging

- **Predicciones:** Valores interpolados de P1002B\_TOTAL con un rango de 6,647 a 7,465.
- **Varianza:** Desviación estándar promedio de las predicciones: 439,326,720.

Estadístico	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
Predicción	6,647	6,812	6,812	6,812	6,812	7,465
Varianza	436,950,486	439,333,017	439,333,017	439,326,720	439,333,017	439,333,017

Table 2: Resumen estadístico de las predicciones y varianza del kriging.

## 6 Visualización de Resultados

### 6.1 Mapa de Predicciones

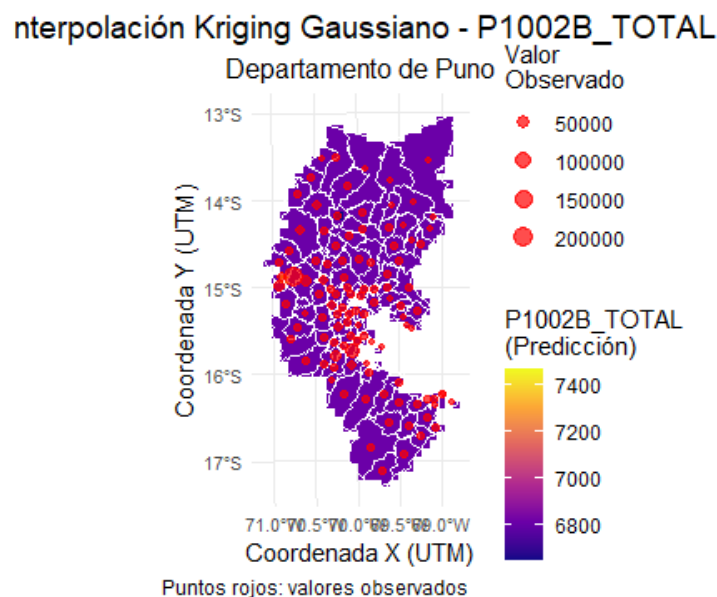


Figure 2: Mapa de interpolación kriging gaussiano para P1002B\_TOTAL en Puno. Los puntos rojos indican valores observados.

## 6.2 Mapa de Incertidumbre

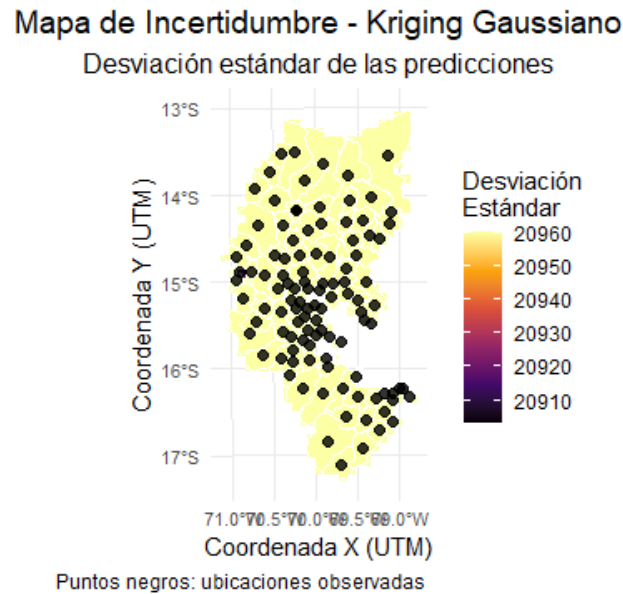


Figure 3: Mapa de incertidumbre (desviación estándar) de las predicciones del kriging.

## 6.3 Mapa de Validación

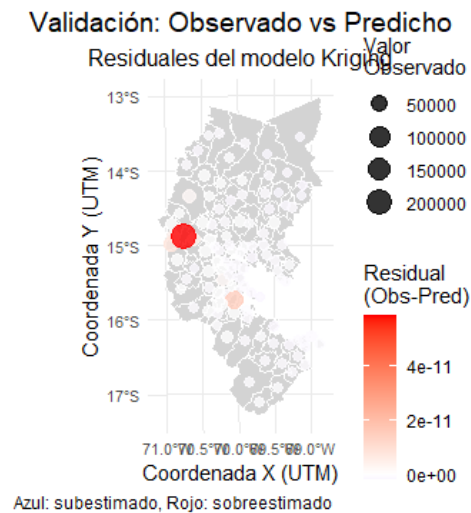


Figure 4: Mapa de residuales (observado vs. predicho). Azul indica subestimación y rojo sobreestimación.

## 7 Conclusiones

El análisis espacial mediante kriging gaussiano permitió estimar la distribución de P1002B\_TOTAL en el departamento de Puno con alta precisión ( $R^2 = 1$ ). Sin embargo, el rango ajustado del modelo (475.18 m) es inusualmente bajo, sugiriendo una posible sobreajuste

o limitaciones en la variabilidad espacial capturada. Los mapas generados proporcionan una visualización clara de las predicciones, la incertidumbre y los residuales, siendo herramientas útiles para la toma de decisiones en el ámbito regional.