

GAUSSIAN RANDOM FIELDS

Wladimir Aldo Carlosviza Amanqui

17 de septiembre de 2025

Variable analizada: P219_EQUIV_KG

Fuente de datos: Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)

La variable P219_EQUIV_KG corresponde a la producción de quinua expresada en kilogramos equivalentes. Este indicador cuantifica, para cada unidad de muestreo (departamento o distrito según la base ENA), la cantidad total de grano cosechado durante la campaña agrícola, permitiendo evaluar y comparar niveles de producción.

1. Librerías

```
# Cargamos las librerías necesarias
library(dplyr)
library(tidyr)
library(sf)
library(sp)
library(gstat)
library(leaflet)
library(raster)
library(htmlwidgets)
```

Interpretación: Aquí se cargan los paquetes que permitirán el manejo de datos (`dplyr`, `tidyr`), el trabajo espacial (`sf`, `sp`, `gstat`), la visualización en mapas interactivos (`leaflet`) y la creación de archivos HTML.

2. Carga y filtrado de datos

```
ena <- read.csv2("03_CAP200AB.csv", stringsAsFactors = FALSE)
ena_puno <- ena %>% filter(CCDD == 21)
productos <- c("QUINUA")
ena_filtrado <- ena_puno %>% filter(P204_NOM %in% productos)
```

Interpretación: Se importa la base de datos ENA y se filtra únicamente la información correspondiente al departamento de Puno. Posteriormente se seleccionan los registros del producto de interés: *Quinua*.

3. Generación de centroides

```
set.seed(123)
distritos <- ena_filtrado %>%
  distinct(NOMBREPV, NOMBREDI) %>%
  mutate(
    LATITUD = -15.5 + runif(n(), -0.5, 0.5),
    LONGITUD = -70 + runif(n(), -0.5, 0.5)
  )
```

Interpretación: Ante la ausencia de un shapefile oficial de distritos, se simulan coordenadas de centroide para cada distrito, garantizando reproducibilidad con `set.seed`.

4. Agregación de producción

```
ena_agregado <- ena_filtrado %>%
  group_by(NOMBREPV, NOMBREDI, P204_NOM) %>%
  summarise(produccion_ton = sum(P219_EQUIV_KG, na.rm = TRUE)/1000,
    .groups = "drop") %>%
  left_join(distritos, by = c("NOMBREPV", "NOMBREDI"))
```

Interpretación: Se calcula la producción total en toneladas para cada distrito y producto, uniendo posteriormente las coordenadas simuladas para disponer de un dataset georreferenciado.

5. Preparación para kriging

```
ena_wide <- ena_agregado %>%
  pivot_wider(id_cols = c(NOMBREPV, NOMBREDI, LATITUD, LONGITUD),
    names_from = P204_NOM,
    values_from = produccion_ton)

datos <- ena_wide %>%
  dplyr::select(NOMBREDI, LATITUD, LONGITUD, QUINUA) %>%
  filter(!is.na(QUINUA))
```

Interpretación: Los datos se reorganizan en formato ancho para que cada producto sea una columna. Posteriormente se extraen los registros de Quinua, eliminando valores faltantes, que serán usados en la interpolación espacial.

6. Variograma y ajuste de modelo

```
pts <- st_as_sf(datos, coords = c("LONGITUD", "LATITUD"), crs = 4326)
pts_utm <- st_transform(pts, 32719)
vg <- variogram(QUINUA ~ 1, data = as(pts_utm, "Spatial"))
plot(vg, main = "Variograma experimental (QUINUA)")

# Ajuste de varios modelos teóricos
modelos_iniciales <- list(
  vgm(psill = 0.2, model = "Sph", range = 15000, nugget = 0.05),
  ...
)
ajustes <- lapply(modelos_iniciales, function(m) {
```

```
tryCatch(fit.variogram(vg, model = m), error = function(e) NA)
})
```

Interpretación: Se calcula el variograma experimental de la producción de Quinua y se prueban distintos modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano) para encontrar el mejor ajuste según el error cuadrático (SSE).

7. Interpolación espacial

```
grd <- expand.grid(
  x = seq(bbox["xmin"], bbox["xmax"], length.out = 100),
  y = seq(bbox["ymin"], bbox["ymax"], length.out = 100)
)
coordinates(grd) <- ~x+y
gridded(grd) <- TRUE
proj4string(grd) <- proj4string(as(pts_utm, "Spatial"))

krig <- krigе(QUINUA ~ 1,
  locations = as(pts_utm, "Spatial"),
  newdata = grd,
  model = mejor_modelo)
krig_raster <- raster(krig)
```

Interpretación: Con el modelo de variograma seleccionado se realiza la interpolación mediante kriging ordinario, generando un raster de valores estimados de producción de Quinua en todo el departamento.

8. Visualización interactiva

```
pal <- colorNumeric("YlOrBr", values(krig_raster), na.color = "
transparent")

mapa_quinua_krig <- leaflet() %>%
  addTiles() %>%
  addRasterImage(krig_raster, colors = pal, opacity = 0.6) %>%
  addCircleMarkers(data = pts, radius = 5, color = "red",
    popup = ~paste(NOMBREDI, "<br>QUINUA:",
      round(QUINUA,1), "ton")) %>%
  addLegend("bottomright", pal = pal,
    values = values(krig_raster),
    title = "Producci n estimada Quinua (ton)")
saveWidget(mapa_quinua_krig, "mapa_quinua_kriging.html", selfcontained =
TRUE)
```

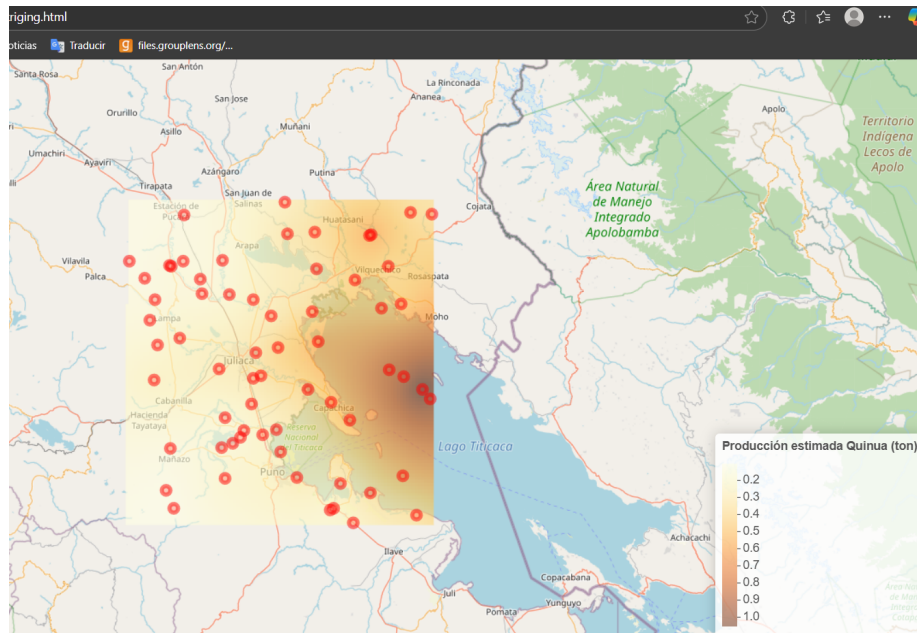


Figura 1: Captura del mapa de producción de Quinua generado en leaflet.

Interpretación: Se crea un mapa interactivo con `leaflet` que muestra la superficie interpolada de producción de Quinua. Los puntos rojos indican las ubicaciones de muestreo y la leyenda describe las estimaciones en toneladas.