


Krigeado de mapas de escenarios de rinde para cultivos extensivos en la Región Pampeana

Homero F. Lozza ¹

Comisión Nacional de Actividades Espaciales – CONAE
Av. Paseo Colón 751, CABA, Argentina (C1063ACH)
h.lozza@conae.gob.ar

Resumen Este trabajo presenta la aplicación de la técnica de Kriging Ordinario para la elaboración de mapas de escenarios de rinde para cultivos extensivos en la Región Pampeana. Se busca potenciar las estimaciones de rindes previos a la cosecha que la CONAE ha desarrollado y publica en el marco de la misión SAOCOM (Satélite Argentino Con Microondas). A través de modelos de cultivos de la familia DSSAT, se generan predicciones de producciones locales de soja u otras plantas. Los valores se extienden espacialmente mediante Kriging, permitiendo una representación más suave y continua de los datos. Los resultados muestran una mejora significativa en la calidad de los mapas, refinando las antiguas estimaciones que se publican por zonas homogéneas, y facilitando su interpretación y uso por productores y agentes del sector agroindustrial.

Palabras claves: Kriging, Sistemas de Información Geográfica, Cultivos

Kriging of yield scenario maps for extensive crops in the Pampas Region

Abstract This paper presents the application of the Ordinary Kriging technique for the development of yield scenario maps for extensive crops in the Pampas Region. It seeks to enhance the pre-harvest yield estimates that CONAE has been developing and publishing within the framework of the SAOCOM (Argentine Satellite With Microwaves) mission. By means of crop models from the DSSAT family, predictions of soybean or other plants local productions are generated. The values are spatially extended using Kriging, allowing for a smoother and more continuous representation of the data. The results show a significant improvement in the quality of the maps, refining the old estimates published by homogeneous areas and facilitating their interpretation and use by farmers and stakeholders in the agriculture industry.

Keywords: Kriging, Geographic Information Systems, Crops

1 Introducción

Los mapas de rinde para cultivos extensivos representan una fuente de información valiosa para productores privados, oficinas de gobierno y diferentes agentes involucrados en las cadenas de producción y comercialización de granos e insumos. Existen iniciativas que se enfocan en elaborar mapas de producción post-cosecha a la escala de lote empleando herramientas de teledetección (de Abelleira et al., 2024) o mapas a escala departamental que agregan muestreos y relevamientos a campo (Sec. de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2025). Sin embargo, resulta de mucho impacto ofrecer una estimación del rinde previo a la cosecha. Ciertamente, son conocidas las dificultades inherentes a los pronósticos de rinde asociadas a la incertidumbre sobre el tiempo meteorológico como por la complejidad de los sistemas biológicos y sus interacciones con el ambiente. A pesar de ello, los modelos de cultivos (MC) representan una aproximación exitosa al desafío de la predicción de rindes (Wallach et al., 2019). Los MC se han desarrollado desde la década de 1980 y permiten simular el crecimiento de las plantas y sus rendimientos considerando las preferencias de manejo del agricultor y las limitantes del ambiente. Particularmente, la humedad de suelo es el principal factor que limita el crecimiento de un cultivo por lo que se considera que una mejor estimación del estado del perfil de suelo redundaría en mejores pronósticos. Así, desde la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) se abordó la elaboración de mapas de escenarios de rinde que puedan acompañar la marcha de la campaña agrícola asimilando la humedad de suelo recuperada desde sus plataformas SAOCOM (Satélite Argentino Con Microondas) en MC de la familia DSSAT (Jones et al., 2003). Los detalles del modelo y el análisis de sus predicciones para la campaña 2019/20 se pueden consultar en Lozza et al., 2021. Es importante notar que los MC operan solamente en la dirección vertical a la superficie y los mapas se construyen extendiendo los resultados locales a un área vecina, considerada homogénea, que comparte los mismos atributos de entrada. Los polígonos asociados a las zonas homogéneas (ZH) permiten cubrir la Región Pampeana y cada una recoge las salidas del modelo luego de ejecutarlo con sendos conjuntos de datos de entrada.

En la literatura específica se debaten otras estrategias para extender espacialmente los resultados de MC más allá de las ZH. En este trabajo aplicamos la técnica de Kriging para extender espacialmente los valores calculados sobre un conjunto de más 1600 sitios dentro de la Región Pampeana. Estos sitios cuentan con una densa información auxiliar requerida por el modelo para su ejecución, restringiendo su aplicación sobre una grilla fina. El krigado es una técnica de interpolación espacial aplicada exitosamente en geofísica que permite predecir el valor de una variable conociendo sus valores en un entorno y estimado su variabilidad espacial. La finalidad de este trabajo es refinar los mapas de escenario de rindes que se publican (CONAE, 2025) otorgándoles un aspecto suave, sin saltos entre bordes de ZH, apoyados en la teoría que demuestra que el método de Kriging genera la mejor estimación lineal no sesgada en sitios no observados.

Este trabajo está ordenado de la siguiente manera. En la sección 2 repasamos los principales conceptos y tecnologías aplicados a la elaboración de los mapas

krigeados y las ideas para el manejo de grillas. La sección 3 muestra los resultados de transformar los mapas de escenarios de rinde de soja por ZH usando el método de Kriging. Finalmente, en la sección 4 dejamos nuestras conclusiones.

2 Procesamiento de los mapas de escenarios de rinde

Los MC de la familia DSSAT ofrecen una importante cantidad de datos de salida a paso diario. Particularmente, nos interesa la variable que representa el peso seco del grano al final del ciclo o en el punto de madurez fisiológica. Dicho resultado se vincula con un punto en el espacio cuyas coordenadas geográficas coinciden con la localización de las variables de entrada como el lote y las propiedades del suelo, los registros meteorológicos, y el tratamiento dado al cultivo. La metodología seguida en este trabajo aplica la técnica de Kriging para estimar los valores de rinde sobre una grilla regular pero gruesa, de aproximadamente 10km de lado. Luego se pasa a una grilla fina de 1km x 1km aplicando una interpolación bilineal. Esto busca reducir el costo computacional del método de Kriging ya que su cálculo directo sobre una grilla fina es mucho más lento que el escalonamiento propuesto, sin por esto afectar la calidad final del producto. La Figura 1 ilustra la secuencia de pasos seguidos para transformar en estimaciones suaves aquellos valores puntuales señalados por los centroides de las ZH, en los que el MC había sido ejecutado. Aquí ejemplificamos con el cultivo de soja pero la metodología es análoga para trigo o maíz.

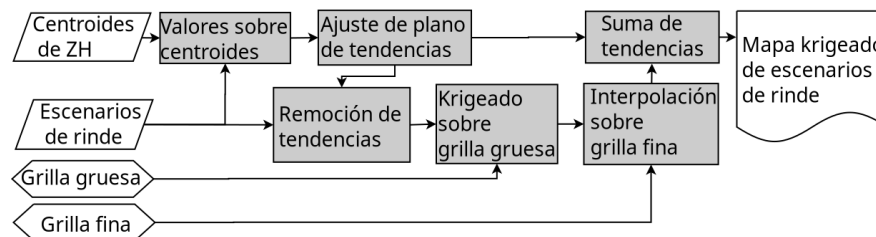


Figura 1: Flujo para la generación de los mapas krigeados sobre la Región Pampeana a partir de los datos de rinde normalizado calculados por ZH.

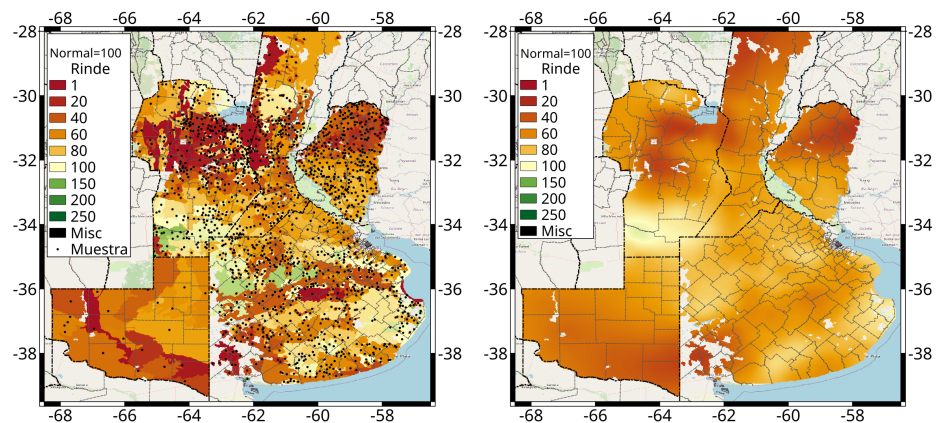
2.1 Tecnologías para el procesamiento de los mapas

El kriging se implementó con la ayuda de la biblioteca PyKrige para el lenguaje Python3 (Murphy et al., 2024). Particularmente, se eligió aplicar la técnica de Kriging Ordinario (KO) restando previamente las tendencias, ya que asume una media constante. Una vez que se completan las predicciones sobre la grilla gruesa, se restituyen los valores sumando las tendencias que fueron eliminadas en el paso anterior. La biblioteca PyKrige calcula los semivariogramas en tiempo de ejecución y permite encontrar los parámetros óptimos para el modelo exponencial

propuesto. Finalmente, la biblioteca GDAL facilita la interpolación bilineal para llevar los resultados a una grilla más fina. A su vez, permite el almacenamiento de los datos como un ráster georreferenciado en formato GeoTiff que habilita su procesamiento con software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3 Resultados

La Figura 2 muestra un mapa de escenarios de rinde normalizados antes (2a) y después (2b) de la transformación con la técnica de KO. Particularmente, los mapas corresponden a anomalías para los escenarios medios de rinde de soja emitidos el 29 de marzo de 2025. Los mapas codifican con colores el rendimiento para el final de campaña. Los tonos naranjas y rojos representan producciones inferiores a la mediana de los últimos 30 años en el mismo sitio que se consulta. Los tonos verdes denotan producciones relativas superiores a la mediana. Se fijó en 100 unidades la producción igual a la mediana que define a un año normal y se muestra con un tono amarillo claro.



(a) Mapa que asigna iguales rindes a píxeles dentro de una misma ZH. Los puntos señalan los sitios donde se calculó el rinde. (b) Mapa que asigna rindes por cada píxel de 1km x 1km luego de aplicar la técnica de KO con corrección de tendencias.

Figura 2: Comparativa de los mapas de escenarios de rinde de soja emitidos el día 29 de marzo de 2025 sobre la Región Pampeana relativos a los valores para un año normal normalizado en 100 unidades. Los valores son los que se obtendrían si en cada sitio se hallara soja.

La Figura 2b demuestra que se han relajado todos los bordes entre ZH que presentaban discontinuidad de valores otorgando una variación suave y realista para estas variables biofísicas. Asimismo, el desempeño para el KO se ha evaluado mediante validación cruzada sobre 10 carpetas. Luego de probar al modelo con

muestras del 10 % de los sitios dentro de cada carpeta, se puede afirmar que los mapas krigeados no presentan sesgo ($0,1 \pm 1,2$), y el RMSE es $22,3 \pm 1,5$. Este resultado mejora una prueba análoga con un modelo de primer vecino, equivalente a la generalización por ZH, y que solamente logra un RMSE de $29,5 \pm 2,7$. Además, el respaldo teórico de la técnica de KO asegura la calidad de las predicciones y su conveniencia frente a otras opciones de combinaciones lineales.

4 Conclusiones

Este trabajo abordó la extensión espacial de las predicciones locales de rinde basadas en MC de la familia DSSAT a toda la Región Pampeana. Se implementó la técnica de Kriging Ordinario para estimar los rindes de soja en puntos no observados de una grilla gruesa. Luego, se pasó a una grilla fina de 1km x 1km mediante interpolación bilineal a un costo computacional bajo. Este procedimiento permitirá refinar los mapas de escenarios de rinde por ZH que la CONAE distribuye asociados a sus proyectos satelitales y de humedad de suelo. Se espera, además, sumar prontamente la serie histórica de mapas de escenarios de rinde krigeados a los canales de distribución de uso masivo como GEOCatálogos de Metadatos y GEOPortales.

Referencias

- CONAE. (2025). GEOCatálogo de Metadatos. Consultado el 4 de julio de 2025, desde <https://geocatalogos.conae.gov.ar/>
- de Abelleyra, D., Iturralde Elortegui, M. d. R., Zelaya, K., Portillo, J., & ... Viatale, J. (2024). *Argentina National Map of Crops 2023/2024* (inf. téc.). <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.13984184>
- Jones, J., Hoogenboom, G., Porter, C., Boote, K., Batchelor, W., Hunt, L., Wilkens, P., Singh, U., Gijsman, A., & Ritchie, J. (2003). DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy*, *18*, 235-265.
- Lozza, H., Bustos Revol, S., Horlent, M., Mogadouro, J., Otero, J., Soldano, A., Thomas, P., Tropper, I., & Valderrey, M. (2021). Mapas de anomalías y de variaciones interanuales de las medianas de escenarios de rinde para cultivos extensivos basados en observaciones satelitales y modelos. *50JAIIO - CAI*, 146-159. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/140701>
- Murphy, B., Yurchak, R., & Müller, S. (2024). *GeoStat-Framework/PyKrige: v1.7.2* (Ver. v1.7.2). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11360184>
- Sec. de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2025). *Método de Segmentos Aleatorios* (inf. téc.). <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/metologia/>
- Wallach, D., Jones, J., Makowski, D., & Brun, F. (2019). *Working with dynamic crop models*. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2016-0-01552-8>