

# Estrategias de muestreo probabilístico utilizando información de covariables georreferenciadas

Joaquín Llera, Nora Martinengo, María Morelli y Laura Cánovas

Los métodos objetivos para pronosticar cosechas de vid se basan esencialmente en la fisiología, fenología, métodos de muestreo y la inferencia estadística. El pronóstico se realiza a nivel parcelario, utilizando

**Joaquín Llera, Nora Martinengo, María Morelli y Laura Cánovas**

Departamento de Biomatemática y Fisicoquímica.  
Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias.

Los métodos objetivos para pronosticar cosechas de vid se basan esencialmente en la fisiología, fenología, métodos de muestreo y la inferencia estadística. El pronóstico se realiza a nivel parcelario, utilizando diferentes modelos y estrategias de muestreo que permiten la estimación del rendimiento a un nivel de confianza fijado y su posterior evaluación. Para un determinado modelo de pronóstico de producción el objetivo es elaborar criterios en el diseño de un plan de muestreo que logre obtener muestras representativas y objetivas para estimar sus parámetros a un nivel de confianza fijado. Hace algunos años, el equipo formado en la Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo inició la búsqueda de una técnica de muestreo probabilístico adecuada para pronosticar la producción parcelaria de un viñedo. A tal objeto se han propuesto los siguientes modelos:

<b>MODELO II</b>	De dos componentes. Basado en la estimación de los promedios de la cantidad de racimos por planta y del peso unitario del racimo.
<b>MODELO III</b>	De cociente (Clingeffer, 2001). Basado en la variación producida entre dos campañas sucesivas.
<b>MODELO IV</b>	De tres componentes. Basado en la estimación de los promedios de cantidad de racimos por planta, cantidad de bayas y peso unitario de las bayas.

Nota: la numeración de los modelos responde a la nomenclatura usada en estudios anteriores

**Tabla 1.** Modelos de muestreo probabilístico

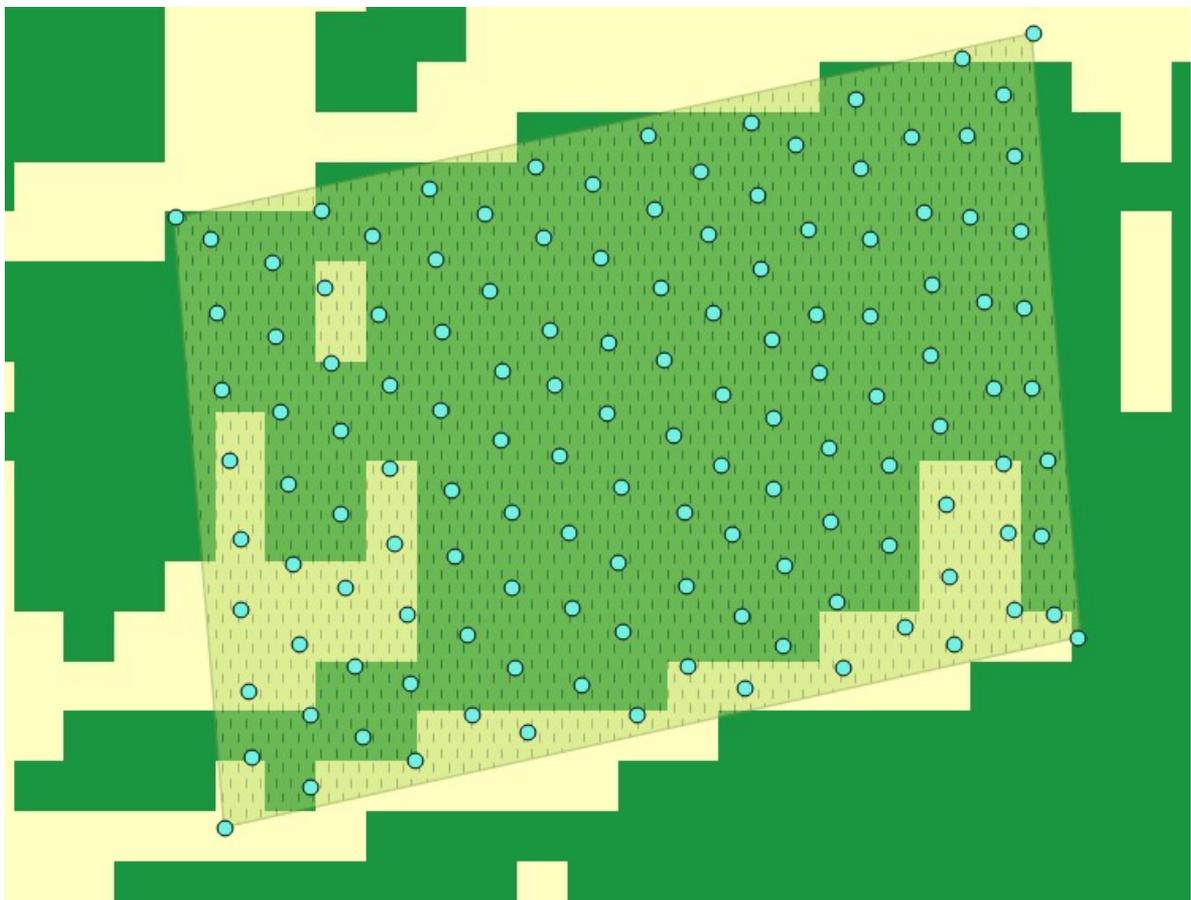
Se compararon tres estrategias de muestreo en la selección de unidades primarias de muestreo: 1) sistemático con arranque aleatorio; 2) conglomerados y 3) muestreo aleatorio simple. Además se diferenciaron pronósticos tempranos o cercanos a cosecha.

Actualmente y para continuar con este proyecto, se utilizan las herramientas brindadas por la Estadística Espacial (generalmente mapas georreferenciados). Se considera necesario incorporar la información de la variación espacio-temporal que se produce en el interior de los cuarteles de los viñedos para aumentar la precisión de las estimaciones de los modelos de pronóstico de producción parcelarios. Los mapas con información espacio temporal logran:

1. Una malla de puntos georreferenciados (muestreo sistemático).
2. Determinaciones de las variaciones espacial, local y global.
3. Semivariograma (permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida) para obtener un modelo empírico de la variación espacial, al cual se le ajusta un modelo teórico seleccionado bajo un criterio de comparación de modelos como es el de Akaike.
4. El modelo teórico seleccionado: se realiza una estimación de los valores de la covariable estudiada en aquellos espacios no muestreados, utilizando una interpolación espacial con un krigeado ordinario (para estimar magnitudes de dependencia espacial). Esto genera los llamados mapas temáticos o específicos para cada covariable, donde se pueden indicar zonas homogéneas que agrupan puntos o unidades de muestreo similares que conforman parches o estratos con una referencia de color específica. Estas zonas o estratos son base para la toma de decisiones de nuevas acciones productivas de corrección y de estrategias de muestreo estratificados que mejoran las estimaciones de producción parcelaria.

Durante la vendimia 2017, se trabajó en una parcela de la Finca Experimental "San Antonio" de la Facultad de Ciencias Agrarias. Se fijaron con muestreo sistemático un total de 128 plantas (puntos) en un cuartel de Malbec conducido con un espaldero alto. Con el objeto de captar la posible variabilidad espacial de las variables a medir, se decidió tomar una alta densidad de plantas. Dicha cantidad se definió con el tamaño de muestra para la variable cantidad de racimos por planta, que de todas las variables de modelación es la de mayor valor de varianza. Se tomó como borduras la primera y última hila, y el primer y último claro de cada hilera. La primera hilera de la estructura fue sorteada (1 a 5), al igual que la primera planta de la hilera (1 a 11). Luego en forma sistemática cada 5 hileras y 11 plantas en la hilera, se obtiene la malla de puntos (Figura 2). Para la campaña 2017 se aplicaron en las plantas pertenecientes a la malla, todos los modelos planteados con todas las estrategias para pronósticos en distintos momentos: cercano a cosecha y otro temprano para el envero. Esto permitió la validación de modelos sin información previa de la parcela.

Con el objeto de georreferenciar al enrejado con sus 128 puntos, se utilizó la aplicación Mobile Topographer ver.8.0.6, con la que se generó una tabla para su aplicación y utilización con QGIS ver 3.18.



**Figura 2.** NDVI de la Parcela de Malbec con QGIS

(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index )

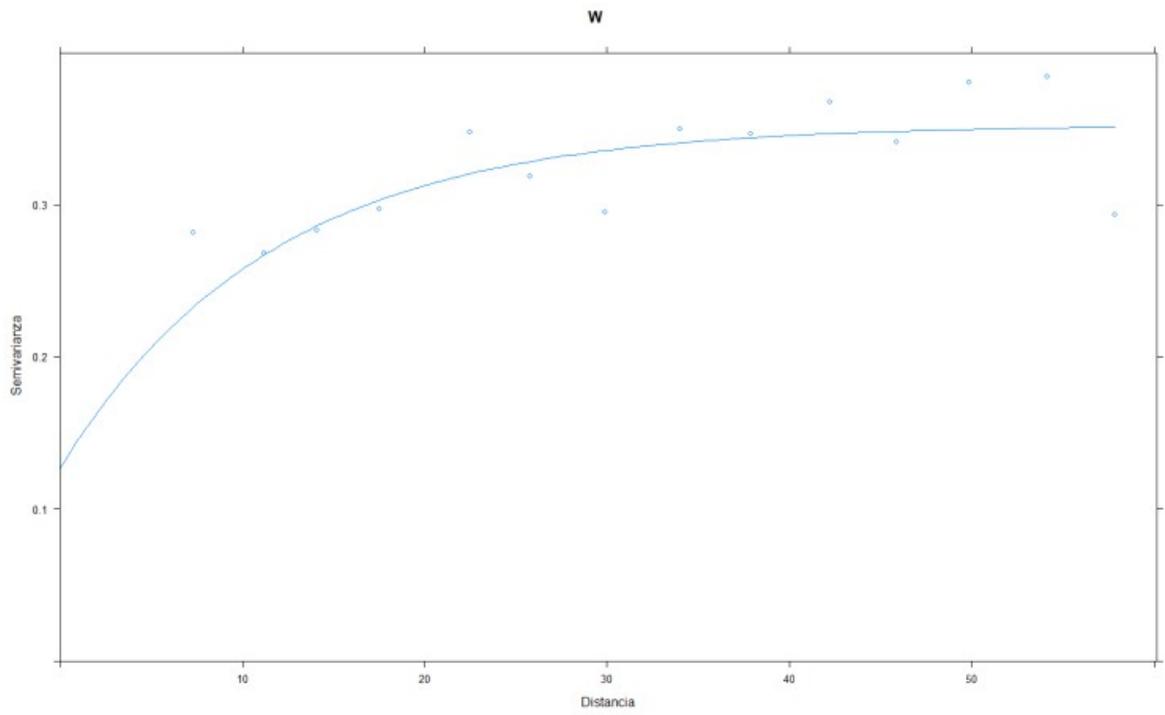
En la tabla 2 se muestran los pronósticos de producción parcelarios tempranos y cercanos a cosecha, con sus respectivas estimaciones, precisión e intervalos de confianza 95% y los errores de pronóstico, según haya sido la estrategia de muestreo que se aplicó en la Parcela Experimental de Malbec.

<b>Pronóstico temprano</b>					
Vendimia	Modelos Estrategia	Pronóstico (kg/parcela)	Error de estimación	Cosecha (kg/parcela)	% error pronóstico
2017	IV	4448,5	615	5104,3	12,8
<b>Pronóstico cercano a cosecha</b>					
Vendimia	Modelos Estrategia	Pronóstico (kg/parcela)	Error de estimación	Cosecha (kg/parcela)	% error pronóstico
	II	5638,4	386,5	5104,3	10,5
	III	4736,7	486,8	5104,3	7,2

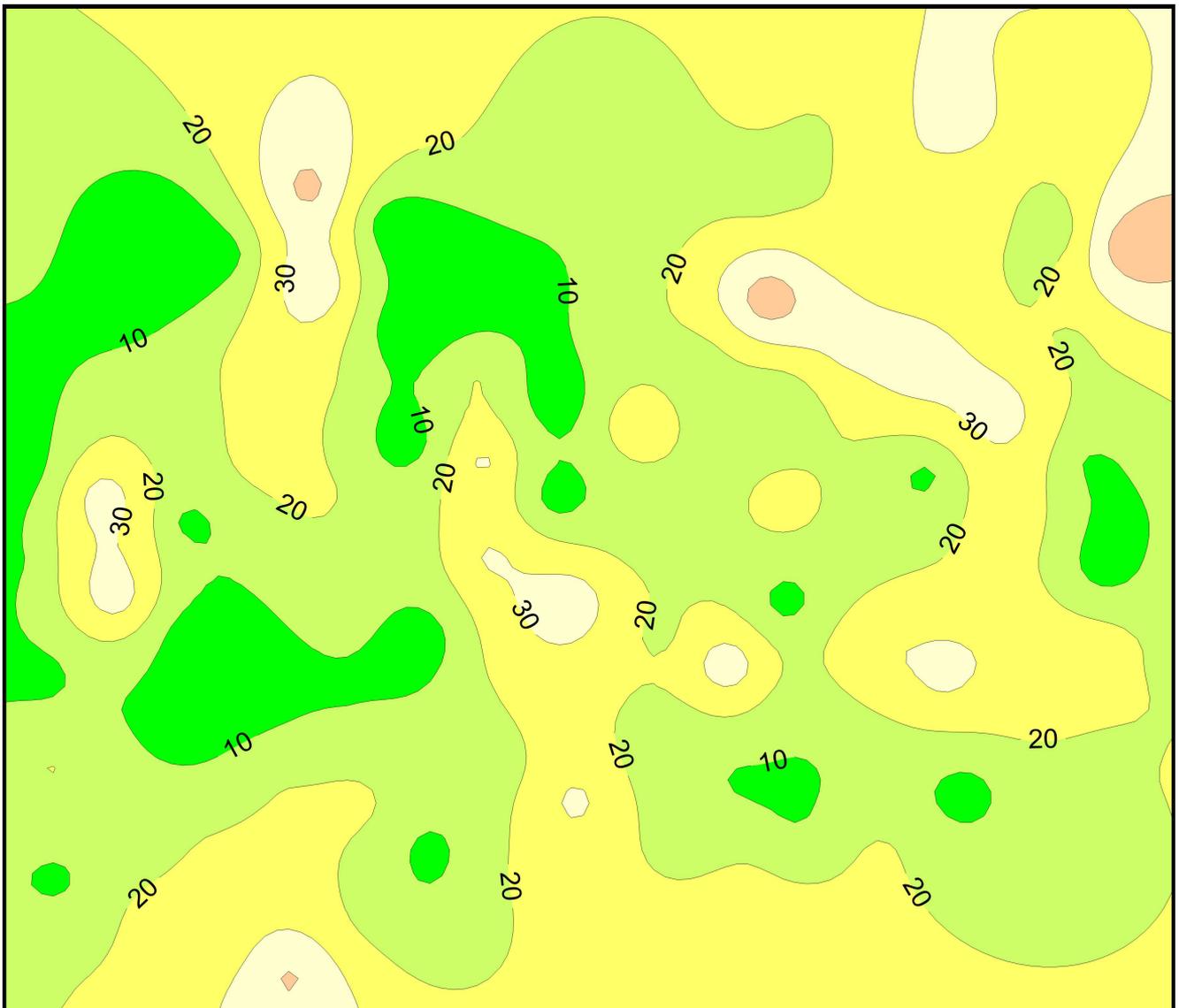
**Tabla 2.** Pronósticos y sus errores según estrategia de muestreo. Campaña 2017

Con una estrategia de muestreo sistemático con arranque aleatorio sobre los puntos fijados para muestrear racimos, el modelo de dos componentes para un pronóstico de producción potencial temprano fue el que resultó con errores de pronóstico menores alrededor al 10% fijado ( $k > 2$ ). Para un pronóstico cercano a cosecha, ambos modelos cumplen con el error cercano al 10%. Esto sigue validando las conclusiones de anteriores investigaciones de la utilidad de los modelos de dos componentes. Esto es debido a la menor cantidad de parámetros a estimar que en el caso del modelo de tres componentes.

La variabilidad espacial se modeló mediante un semivariograma (Figura 3) empírico para la variable producción unitaria (Kg/planta) y sobre él se ajustó un modelo de semivariograma exponencial.



**Figura 3. Semivariograma empírico y teórico (modelo Exponencial) para la variable W, producción Unitaria (kg/planta).**



**Figura 4. Mapa de variabilidad espacial para la variable producción unitaria**

Se valida que los pronósticos cercanos a cosecha en el modelo de producción parcelaria basado en el peso promedio de la producción por planta, aplicando una estrategia de dos fases, resultan con menor error de pronóstico.

Con la variable cantidad de racimos por planta, valorada en forma temprana para los puntos de muestreo del Lattice, se puede construir un mapa que permita detectar zonas homogéneas de carga de racimos. A partir de dicha información se podrán formalizar los estratos para un muestreo aleatorio estratificado que permitan estimar el peso unitario de los racimos. Esto contribuiría a aumentar la precisión de la estimación del pronóstico de producción parcelaria. Se debe continuar con la medición de covariables que permitan explicar las causas reales de la variabilidad espacial.

**Palabras claves:** Vid - Pronóstico de cosecha

**Descriptores:** Muestreo – Técnicas de predicción – Predicción del rendimiento – Geomática - Vid

## **Bibliografía**

- Clingeleffer, P. R.; Martin, S. R.; Dunn, G. M.; Krstic, M. P. (2001). Crop development, crop estimation and crop control to secure quality and production of major wine grape varieties: a national approach: final report to Grape and Wine Research & Development Corporation. Grape and Wine Research & Development Corporation. VIII (148), 17 p.
- Flores, L. (2005). Variabilidad espacial del rendimiento de uva y calidad del mosto en cuarteles de vid. Cabernet Sauvignon y Chardonnay en repuesta a la variabilidad de algunas propiedades del suelo. Agricultura Técnica .Chile 65(2), (210-220).
- Llera, J.; Galiotti, H.; Martinengo, N.; Matus, S.; Morelli, Cl.; Gómez, F.; Gibbs J.; Sosa, M.; (2011). Aplicación de técnicas de muestreo probabilístico. Pronóstico de producción de uvas en viñas de var. Malbec. Proyecto SECTYP. UNCuyo. Informe Final, 1-28 p.
- Lohr, Sharon, L.(2000). Muestreo, Diseño y análisis. Int. Thomson. Ed.; México. 480 pág.
- Matheron, G. (1970) The Theory of Regionalized Variables and Its Applications. Ecole Nationale Supérieure des Mine, 5, 212.
- Tarter, M.; Keuter, S.; (2008). Shoot-Based Sampling of Vitis vinifera Clusters. American Journal Enol. Vitic. 59:1.
- Taylor, J. Whitin (2001) Block variability in grapes. An example. Astralian Center for Precision Agriculture Bulletin.p.1-5. University of Sydney, Sydney, Australia.