

Uso de modelos agronómicos de simulación para evaluar un método semi-paramétrico de generación de series climáticas sintéticas

Federico E. Bert^{1,2}, Guillermo P. Podestá³, Balaji Rajagopalan⁴, Somkiat Apipattanavis⁴

¹Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, UBA CP C1417DSE, Argentina,

²Área de Tecnología de AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola),

³Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences, University of Miami, FL 33149-1098, USA,

⁴Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado, Boulder, USA.

A. Introducción

Uno de los problemas más comunes para la aplicación de modelos de simulación agronómica es la falta de registros históricos largos de variables climáticas con resolución diaria, requeridos como entrada por los modelos. Una solución alternativa es el uso de generadores estocásticos, que producen series sintéticas de variables meteorológicas con características estadísticas similares a los datos históricos. Existen diferentes métodos de generación que pueden agruparse en dos grandes grupos: paramétricos y no-paramétricos (Wilks y Wilby 1999). Recientemente, Apipattanavis et al. (2006) propusieron un método semi-paramétrico basado en la combinación de métodos paramétricos y no-paramétricos. Este método mostró mejoras en la simulación de algunas propiedades de los registros climáticos reales. Además, incluye un algoritmo que facilita la generación de series climáticas condicionadas por distintas forzantes climáticas (ej., pronósticos estacionales, índices climáticos de gran escala). Sin embargo, resta evaluar la consistencia de esas series sintéticas al momento de utilizarlas en modelos agronómicos.

En este trabajo se evalúa el comportamiento de series climáticas sintéticas generadas mediante el método de Apipattanavis et al. (2006) utilizando un modelo de simulación para el cultivo de maíz. Específicamente, se evalúa la consistencia de rendimientos simulados usando las series sintéticas y la serie real.

B. Métodos de generación de series climáticas sintéticas

Los métodos paramétricos típicamente simulan la ocurrencia de precipitaciones mediante cadenas de Markov; el monto de precipitación en días lluviosos se modela mediante varias distribuciones (gamma, exponencial, etc.). Las demás variables se generan usando un modelo auto-regresivo multivariado de lag-1 (MAR-1), con las precipitaciones como variable de entrada (Richardson, 1981).

Los modelos no-paramétricos, en cambio, se basan en estimaciones de funciones de probabilidad de las variables climáticas o, alternativamente, en métodos de remuestreo (ej., K-Nearest Neighbor; K-NN; Rajagopalan y Lall 1999). El método K-NN consiste en seleccionar (en base a distancia Euclidiana) una serie de k días similares (en espacio multivariado) al día t sobre el cual se trabaja. Luego, uno de los k vecinos es seleccionado aleatoriamente, el día siguiente al seleccionado se usa como día $t+1$, y así sucesivamente. Los métodos no-paramétricos solucionan varios de los problemas observados en los paramétricos (ej., asunción de distribución normal de variables) aunque presentan algunos problemas en reproducir ciertas características de las series históricas (ej., duración de periodos húmedos/secos).

El modelo propuesto por Apipattanavis et al. (2006) se basa en una combinación de métodos paramétricos y no-paramétricos. El generador consta de dos componentes: (a) una cadena de Markov para generar el "estado" de precipitación y, (b) un módulo basado en el método k -NN para generar el monto de precipitación y el resto de las variables climáticas. La cadena de Markov es de primer orden y tiene tres estados: seco, húmedo y extremadamente húmedo. El proceso de tres estados se implementó dado que

una versión de dos estados no reproducía adecuadamente la frecuencia de días con precipitaciones altas (> 20 mm día⁻¹).

C. Generación de series

El modelo híbrido descrito en la sección anterior se utilizó para generar series sintéticas diarias consistentes con una serie histórica de 73 años (1931-2003) para Pergamino, una importante región agrícola en la Pampa Húmeda. Se generaron 100 bloques de 73 años (o sea, 100 realizaciones equiprobables de la serie histórica). En las figuras donde se ilustran resultados, este grupo de series sintéticas se denomina "two-step," dado que el método semi-paramétrico involucra dos pasos. Para poder explorar las ventajas del método semi-paramétrico, se simuló un segundo grupo de 100 bloques de 73 años usando el método k -NN original, en el cual todas las variables se generan al mismo tiempo. Este grupo de series sintéticas se denomina "one-step."

D. Series climáticas condicionadas a pronósticos estacionales

El modelo de Apipattanavis incluye un algoritmo que facilita la generación de series climáticas sintéticas condicionadas por distintas forzantes climáticas (ej., pronósticos estacionales). Este algoritmo realiza un remuestreo ponderado de la serie histórica según el condicionamiento deseado para la serie sintética. Por ejemplo, para generar una serie consistente con un pronóstico categórico del IRI (Int. Res. Inst. for Climate and Society; probabilidades de precipitaciones por encima, similares o por debajo de la media) primero se divide la serie histórica en terciles y luego se remuestrea cada tercil de manera consistente con el pronóstico. Como resultado del remuestreo condicionado se obtiene una nueva serie sobre la cual opera el generador semi-paramétrico para generar la serie condicionada.

Así, en una segunda etapa, se generaron series sintéticas consistentes con dos pronósticos climáticos estacionales opuestos producidos por el IRI para el periodo Noviembre-Enero. Se generaron:

- 200 años sintéticos consistentes con un pronóstico anticipando 45, 30, y 25% de probabilidades de que las precipitaciones fueran mayores, iguales o menores a lo normal respectivamente (*pronóstico húmedo*) y,
- 200 años sintéticos consistentes con un pronóstico anticipando 45, 30 y 25% de probabilidades de que las precipitaciones fueran menores, iguales o mayores, a lo normal respectivamente (*pronóstico seco*).

E. Simulaciones con modelos agronómicos

Los cuatro grupos de series climáticas sintéticas generadas (*two-step*, *one-step*, *pronóstico húmedo* y *seco*) y la serie histórica de Pergamino se utilizaron para simular rendimientos de maíz. El modelo utilizado fue CERES Maize (Ritchie et al., 1998), considerando un suelo representativo de Pergamino y un manejo típico del maíz para esta zona.

F. Resultados

a. Comparación de métodos

Los rendimientos de maíz “sintéticos” (simulados usando series climáticas sintéticas) son consistentes con los rendimientos “históricos” (simulados usando la serie histórica); i.e., los rendimientos históricos caen dentro del rango de variabilidad de los rendimientos sintéticos, de modo que podrían ser una realización más de las simulaciones del generador (Figura 1). Sin embargo, se observan problemas en algunos de los estadísticos analizados. Por ejemplo, ambos métodos subestiman la variabilidad de las series. Esto se refleja en el mayor desvío estándar (de) y distancia entre cuartiles (dic) que presentan los rendimientos simulados con la serie histórica.

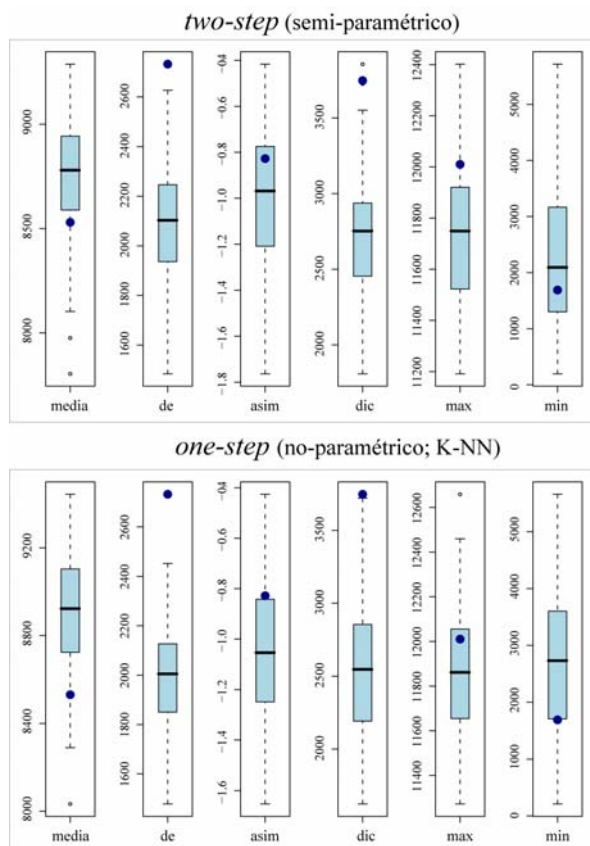


Figura 1. Estadísticos resultantes de las simulaciones de rendimientos de maíz con distintas series climáticas. El panel superior (inferior) muestra los resultados de las series generadas con el modelo *two-step* (*one-step*). El punto indica el valor del estadístico para los rendimientos “históricos”. Las cajas y bigotes ilustran la distribución de los estadísticos para las 100 realizaciones sintéticas (cada realización tiene 72 rendimientos simulados). Las cajas representan los cuartiles centrales para las 100 realizaciones sintéticas. Referencias:

media = media de rendimientos;
de = desvío estándar de rendimientos,
asim = coeficiente de asimetría de rendimientos,
dic = distancia entre cuartiles,
max = rendimientos máximos,
min = rendimientos mínimos.

El método *two-step* captura mejor algunas de las características de los rendimientos históricos; en general, la tendencia central de los estadísticos de los rendimientos sintéticos se acercan más a los estadísticos de los rendimientos históricos. Esto se refleja en menores valores de RMSE para los estadísticos de los rendimientos con *two-step* (estadísticos sintéticos vs. histórico; datos no mostrados). De esta manera, las simulaciones muestran que el modelo semi-

paramétrico produce series climáticas sintéticas que capturan de manera más ajustada (que los métodos no-paramétricos tradicionales) las características de los registros históricos.

b. Series condicionadas

Las distribuciones de rendimientos son diferentes para los tres escenarios de precipitación evaluados. Las diferencias más importantes respecto a los rendimientos históricos se observan para el pronóstico húmedo. La media de rendimientos simulados con el pronóstico húmedo es mayor que la simulada con la serie histórica y esta mayor que la simulada con el pronóstico seco (Figura 2). La distribución de rendimientos para el pronóstico húmedo muestra una menor variabilidad, con notable disminución de la frecuencia de rendimientos bajos (Figura 2).

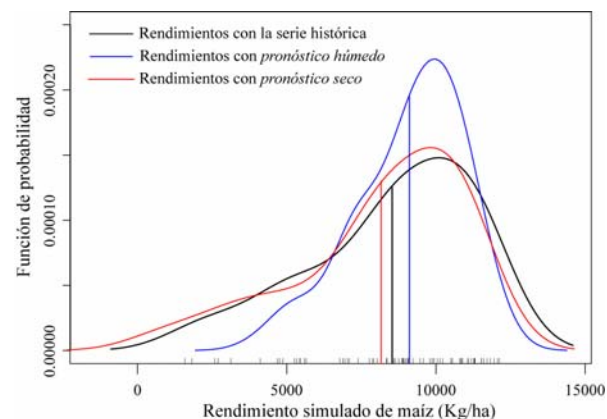


Figura 2. Distribución de rendimientos de maíz simulados con: la serie histórica, una serie sintética consistente con un *pronóstico húmedo* y, una serie sintética consistente con un *pronóstico seco*. Las líneas verticales indican la media de cada distribución.

De esta manera, el algoritmo que incluye el modelo de Apipattanavis, permite generar series climáticas sintéticas que reproducen los impactos de posibles forzantes climáticas (en este caso pronósticos del IRI).

G. Conclusiones

La performance del modelo en la reproducción de las características de los rendimientos históricos permite simular series sintéticas para ser usadas en modelos de cultivos en casos donde no se dispone de registros climáticos largos. La incorporación de series climáticas largas en modelos de cultivo permite realizar análisis probabilísticos robustos de los impactos del clima en la producción de cultivos.

La generación de series sintéticas condicionadas por forzantes climáticas puede ser muy útil en la aplicación de pronósticos climáticos estacionales, ya que permite evaluar los posibles resultados y riesgos de alternativas de manejo del sistema en respuesta a un pronóstico.

H. Referencias

- Appipattanavis S, Podestá G, Rajagopalan B, Katz R, Two Step *k*-NN multivariate weather generator and conditional weather scenarios on climate forecasts. Manuscrito en preparación.
- Rajagopalan B, Lall U, 1999 A *k*-nearest-neighbor simulator for daily precipitation and other weather variables. *Water Resour Res* 35 (10) 3089-3101.
- Richardson CW, 1981 Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resour Res* 17 182-190.
- Ritchie J, Singh V, Godwin D, Bowen W, 1998 Cereal growth, development and yield. En: Tsuji G, Hoogenboom G, Thornton P (eds), *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp 79-98.
- Wilks D, Wilby R, 1999 Review of stochastic weather models. *Prog Phys Geog* 329-357.