

## Trabajo completo

# Selección de un modelo no lineal mixto de niveles múltiples para modelar el crecimiento de la soja

RECIBIDO: 16/06/2010

ACEPTADO: 15/11/2010

**Garcia, M. del C. • Rapelli, C.**

Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística. Facultad de Ciencias Económicas y Estadística. Universidad Nacional de Rosario. Bvard Oroño 1261. (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina.

Teléfono: 0341-4802794-int.152. E-mail: mgarcia@fcecon.unr.edu.ar

**RESUMEN:** Los datos obtenidos de la experimentación agrícola, frecuentemente, tienen una estructura jerárquica, pues las unidades de análisis están anidadas dentro de múltiples factores de agrupamiento y sobre esas unidades se realizan mediciones repetidas a través del tiempo. Los modelos no lineales mixtos de niveles múltiples son útiles para describir el proceso de crecimiento, pues sus efectos aleatorios corresponden a las diferentes fuentes de variabilidad. El propósito de este trabajo es modelar y seleccionar un modelo de niveles múltiples para el crecimiento de la soja. Se ajusta un modelo mixto con tres niveles anidados de efectos aleatorios y se verifica la bondad del ajuste. Los resultados muestran que el uso de efectos aleatorios en algunos de los parámetros de la función de crecimiento y una función de potencia de los valores ajustados en la variancia

intra-unidad explica la heterogeneidad de los datos.

**PALABRAS CLAVE:** Estudios longitudinales. Modelos no lineales mixtos de niveles múltiples. Construcción de modelos. Criterios de bondad de ajuste.

**SUMMARY:** Data from agricultural experiments frequently have a hierarchical or grouped structure, since units of analysis are nested within multiple grouping factors. A multi-level non-linear mixed model is useful to describe the growth process, when data are grouped according to multiple nested factors. The purpose of this paper is to present an introduction to the formulation and selection of multi-level models in the analysis of longitudinal data and illustrate their usefulness for modeling the growth of soy. A mixed model is fit

with three nested levels of random effects using criteria that allows us to directly verify the goodness of fit of the model. The results show that the use of random effects in some of the parameters of the growth function and a power function of the fitted

values in the intra-unit variance explains the heterogeneity of the data. The model also it identifies the factors that lead to a better plant growth.

**KEYWORDS:** Longitudinal data. Multilevel nonlinear mixed model. Building model process. Goodness-of-fit criteria.

## 1. Introducción

Los modelos no lineales mixtos de niveles múltiples se utilizan cuando las mediciones repetidas de la variable de interés, registradas a través del tiempo, se realizan sobre unidades agrupadas jerárquicamente. Este agrupamiento produce heterogeneidad en los datos que se puede modelar mediante la introducción de efectos aleatorios, que están asociados a las diferentes fuentes de variabilidad (grupos, unidades dentro de esos grupos) que tienen una estructura jerárquica con varios niveles.

Una etapa de la modelación estadística es la "construcción del modelo" que consiste en caracterizar a los efectos fijos y aleatorios a incluir en el mismo, así como a la obtención de un modelo parco. Durante el proceso iterativo de selección del modelo se utilizan criterios para comprobar la bondad del ajuste que se basan en la función de verosimilitud. Una de las desventajas de estos criterios es que resulta necesaria la estimación de diferentes modelos y dada la complejidad de los mismos, sumado al volumen de información disponible, aumentan la dificultad de implementación. En los últimos años surgieron estadísticas similares al coeficiente de determinación de los modelos lineales como alternativas de los anteriores. En este trabajo se presenta el proceso de construcción de un modelo no lineal de niveles múltiples para explicar la

evolución de la altura de la soja y caracterizar factores que afectan su crecimiento. Durante la etapa de selección del modelo se utilizan algunos criterios propuestos (1, 2) para comprobar la bondad del ajuste, que proveen una medida de la concordancia entre las respuestas observadas y ajustadas. Se utilizan los paquetes estadísticos R (3) y SAS (4, 5).

## 2. Materiales y métodos

### *Los datos*

Una investigación relacionada con el control químico de malezas en cultivos de soja se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario. En este estudio se combinó un arreglo espacial, con dos espaciamentos del cultivo, con dosis reducidas de herbicidas y distintas densidades de una maleza (malva). La Malva (*Anoda cristata*) es una maleza de importancia en soja y otros cultivos agrícolas de la Argentina.

Entre los factores agronómicos que alteran el crecimiento de un cultivo en presencia de maleza se encuentra el espaciamento entre filas del cultivo, que somete a la maleza a un cambio de hábitat, y la densidad de maleza existente. Se planea un ensayo compuesto por tres bloques con un espaciamento entre filas de 35 cm y otros tres bloques con un espaciamento de 70 cm. Se asignan aleatoriamente a cinco par-