



## **AJUSTE DEL MODELO ECONOMETRICO MIXTO ESPACIAL PARA LA DOSIFICACIÓN VARIABLE DE NITRÓGENO EN MAÍZ**

**Balboa, G.<sup>1\*</sup>; Cerliani, C.<sup>1</sup>; Balboa, R.; Espósito, G.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Dpto. Producción Vegetal (FAV-UNRC)

\* [gbalboa@ayv.unrc.edu.ar](mailto:gbalboa@ayv.unrc.edu.ar); Ruta 36 km 601 (5800) Río Cuarto Córdoba. ; +54 358 4676504

### **INTRODUCCIÓN**

La eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) a nivel mundial se estima en 33% para la producción de cereales (Raun y Johnson, 1999). A su vez, la dosis modal de N para el cultivo de maíz en el sur de Córdoba es de 23 kg ha<sup>-1</sup> (De Prada y Penna, 2008).

La práctica dominante de los productores agropecuarios en la Argentina y en el mundo, es aplicar la misma cantidad de fertilizante nitrogenado en toda la superficie del campo, sin considerar la posible variabilidad espacial de las necesidades de este nutriente.

Una de las principales estrategias propuesta para incrementar la eficiencia global en el uso de los fertilizantes nitrogenados es el manejo sitio específico de insumos a través de la agricultura de precisión (Pan et al 1997).

Los principios generales del manejo sitio-específico son transferibles entre regiones, pero debido a la variabilidad local de las condiciones climáticas y edáficas las estrategias deben ser modeladas localmente (Bongiovanni, 2002; Bravo *et al.*, 2004; Vieira *et al.*, 2006 y Siqueira *et al.*, 2006).

Espósito (2013) desarrolló para la región Centro Sur de la Provincia de Córdoba un Modelo Económico Mixto Espacial (MEME) para la Dosificación Variable de Nitrógeno (DVN) a escala sitio específico teniendo en cuenta el índice topográfico Compuesto (CTI) como principal atributo del relieve que interfiere en la respuesta al N como consecuencia de su influencia en el movimiento superficial del agua de lluvia.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el ajuste del MEME para la dosificación variable de nitrógeno en maíz para la llanura bien drenada del centro y sur de la provincia de Córdoba.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se implantaron cuatro ensayos en tres campañas agrícolas: 1 (2010-11), 2 (2011-12), 1 (2012-13) en un radio de 100 km alrededor de la Ciudad de Río Cuarto (Córdoba, Argentina). Para esta región y según el Instituto de Clima y Agua INTA Castelar, la campaña 2010-11 fue pronosticada con precipitaciones normales (año normal), la 2011-12 inferior a la normal (año seco) y durante la 2012-13 las precipitaciones registradas fueron superiores a la normal (año húmedo). Cada lote se zonificó mediante análisis de cluster utilizando el Software Management Zone Analyst (Fridgen et al 2004). Para ello se emplearon mapas de rendimiento de años anteriores. Se delimitaron así dos zonas de manejo (ZM): Alta Producción (AP) y Baja Producción (BP).

Se platearon seis tratamientos: cinco franjas fijas de N atravesando cada ZM (0, 40, 80, 160 y 320 kg N ha<sup>-1</sup>) y una franja cuya dosis de N fue variable de acuerdo al MEME según predicción climática, mediante las ecuaciones 1, 2 ó 3:

$$\text{año húmedo (Rto= 8848 +25.04N -0.06N}^2 +37.69\text{CTI -0.49CTIN) [1]}$$

$$\text{año normal (Rto=6617+15.95N-0.025N}^2+47.89\text{CTI-0.63CTIN) [2]}$$

$$\text{año seco (Rto=5406 +3.18N -0.02N}^2 +21.45\text{CTI +0.27CTIN) [3]}$$

Donde,

Rto: rendimiento, N: dosis de nitrógeno, CTI: índice topográfico compuesto; CTIN: efecto interactivo del índice topográfico compuesto y la dosis de nitrógeno.

Los parámetros de dichas ecuaciones fueron establecidos por Espósito (2013) mediante máxima verosimilitud utilizando el modelo econométrico mixto espacial (MEME) que considera variables de efectos fijos (dosis de N y atributos de terreno) y variables de efectos aleatorios (localidad y año).

Se realizó la cosecha mediante monitor de rendimiento con georeferenciación de los datos. En pos cosecha se optimizó la respuesta económica al N por ZM (DOEN Cosecha). La relación de precio empleada para los cálculos fue de 7,76 kg de maíz por kg de N. Se realizó un análisis de la varianza empleando el ensayo como repetición.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra las dosis de N predichas por el modelo MEME previo a la siembra para cada ensayo y para cada zona de manejo. También se presentan las dosis óptimas económicas calculadas pos cosecha.

**Tabla 1.** Dosis Óptima Económica de Nitrógeno calculada pos cosecha (DOEN) y dosis de nitrógeno media por zona de manejo, estimada por el Modelo Mixto Econométrico Espacial (DOMEME) previo a la siembra para cada sitio, campaña y zona de manejo.

Ensayo	Zona de Manejo	Campaña	Año	DOEN Cosecha kg N ha <sup>-1</sup>	DOMEME kg N ha <sup>-1</sup>
1	AP	2011/12	Seco	0	3.02
	BP			0	1.6
2	AP	2011/12	Seco	0	0
	BP			0	0
3	AP	2012/13	Húmedo	35	66
	BP			53	73
4	AP	2010/11	Normal	64	60
	BP			44	54

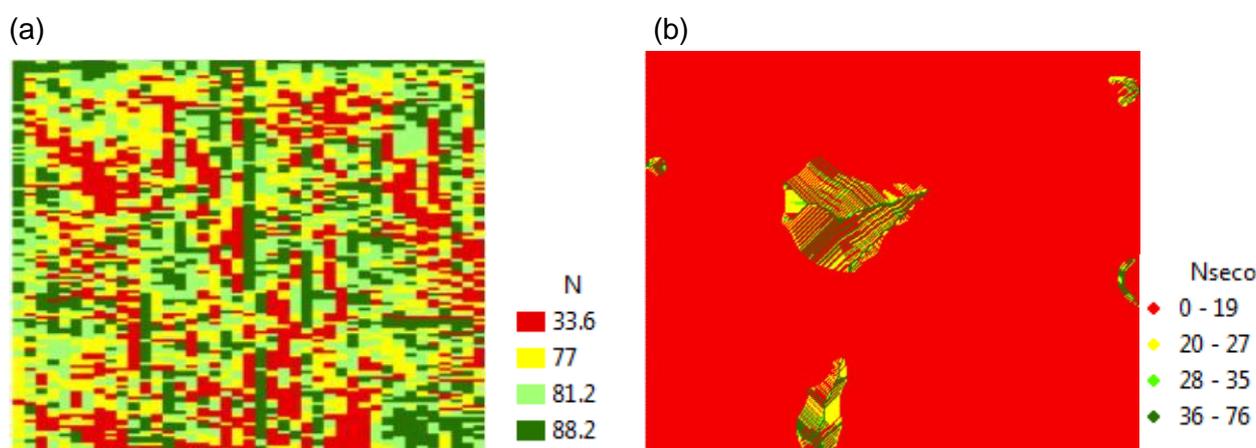
AP: Alta Producción, BP: Baja Producción

Para las campañas 2010-11 y 2012-13 el promedio de rendimiento obtenido mediante la dosis MEME (63 kg N ha<sup>-1</sup>) fue de 11.050 kg ha<sup>-1</sup> y de 10.247 kg ha<sup>-1</sup> para la dosis propuesta por Zonas de Manejo (61 kg N ha<sup>-1</sup>). Esto permite evidenciar que a dosis promedio similares el modelo MEME logró una mayor producción. Esto se debería a una redistribución espacial del nitrógeno

que aumentaría la dosis en aquellas zonas de mayor respuesta y reduciría la misma en zonas donde la respuesta es limitada. El MEME, al considerar atributos espaciales como el CTI tendría la capacidad de diferenciar sitios con mayor y sitios con menor respuesta al agregado de N dentro del lote.

El análisis de los resultados indicó un ajuste del 88% entre la dosis predicha por MEME (DOMEME) ex ante de la siembra y dosis de N óptima calculada luego de la cosecha (DOZM), lo cual indicaría que el modelo MEME resulta ser muy promisorio para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada sitio específico en el sur de Córdoba.

Como se puede apreciar en la Figura 1, el mapa de prescripción de dosis de N para la campaña 2012-13 (caracterizada como húmeda) arrojó rangos de dosis entre 33 y 88 kg N ha<sup>-1</sup> en la mayor superficie del lote. Para el caso de la campaña 2011-12 (caracterizada como seca) se prescribió en gran parte del lote una dosis óptima de entre 0 y 19 kg de N ha<sup>-1</sup>. Las ecuaciones [1], [2] y [3] que incluyen al CTI demostraron que este parámetro está altamente asociado a la respuesta al N tal como lo plantea Liu *et al.* (2006).



**Figura 1.** Mapa de aplicación de N según MEME para Campaña 2012-13 (a), y campaña 2011-12 (b).

También, Kumhálová *et al.* (2011) indicaron que la correlación entre el CTI y el rendimiento está afectada por las características hídricas de cada campaña, donde en años húmedos la correlación es débil, mientras que en años secos la misma es fuerte. Similares resultados fueron además encontrados por Huang *et al.* (2008) en maíz y soja en ambientes ondulados.

El análisis de la varianza (Tabla 2), considerando cada ensayo como repetición, no evidenció diferencia estadísticamente significativa entre la DOMEME y la DOZM optimizada a cosecha, razón por la cual se interpreta que el modelo MEME ajustó correctamente la dosis de N.

**Tabla 2.** Resultados de análisis de la varianza para los modelos de dosificación por zonas de manejo o modelo econométrico mixto espacial.

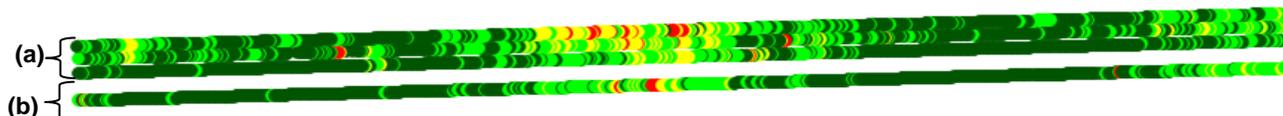
Modelo	Dosis N kg ha <sup>-1</sup>
DOMEME	24,50 a
DOZM	32,20 a
CV (%)	33,92
Valor p	0,14

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ).

En los años secos tanto la DOMEME como la DOZM fue de 0 kg ha<sup>-1</sup>; por lo tanto no pudo compararse la eficiencia en el uso del nitrógeno del fertilizante (EUNF). Por el contrario la EUNF media entre años fue de 22,36 y 9,23 kg de grano por kg de N para el DOMEME y el DOZM, razón por la cual se interpreta que la dosificación determinada por el modelo MEME generó una

EUNF superior en un 142% a la del modelo con ZM. Esto podría explicarse por la gran variabilidad hídrica y nutricional presente en estos ambientes del Sur de Córdoba que requieren una mayor variación de la dosis óptima de N que la planteada con el modelo de zona.

En la Figura 2 se puede observar el rendimiento de las franjas fertilizadas según DOZM (a) y DOMEME (b) para el ensayo 3 en la campaña 2012-13. A pesar de no existir diferencias estadísticas entre ambas dosis, la franja de DOMEME tuvo una producción mayor y más estable producto de la redistribución del nitrógeno en el espacio.



**Figura 2.** Mapa de rendimiento sitio 3 Campaña 2012-13. **(a)** Franjas correspondientes al rendimiento de la dosis de 70 kg N ha<sup>-1</sup>. **(b)** Franjas correspondientes a la dosis variable indicada por el modelo MEME.

La función de producción de maíz ante la fertilización nitrogenada, dependiente de la relación de precios y del valor in situ del CTI para cada punto de un lote comercial, es a su vez dependiente de las condiciones climáticas de cada campaña. Por lo tanto el riesgo climático y grado de precisión de la predicción climática, presentan un elevado impacto en esta estrategia de dosificación de fertilizantes (Espósito, 2013).

## CONCLUSIÓN

Preliminarmente se concluye que la DOMEME tiene un gran ajuste respecto de la observada a cosecha y a pesar de arrojar valores promedio similares la DOMEME evidenció una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno presumiblemente por una redistribución espacial de este nutriente generando un mejor aprovechamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- De Prada, J.; & J Penna, 2008. Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Esposito, G, 2013. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico (MEME). Tesis para acceder al grado de Doctor.
- Espósito, G, Robledo W; Bongiovanni R; Ruffo, M & G. Balboa 2012. Dosificación variable de nitrógeno en maíz según el índice topográfico compuesto. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Fridgen, N.R. Kitchen, K.A. Sudduth, S.T. Drummond, W.J. Wiebol & C.W. Fraisse. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. 2004. Agronomy Journal. 96: 100-108.
- Huang X., Wang L., Yang L. & A. N. Kravchenko. 2008. Management Effects on Relationships of Crop Yields with Topography Represented by Wetness Index and Precipitation. Agronomy Journal, 100(5):1463–1471.
- Kumhálová J., Kumhála F., Kroulík M. & S. Matějková. 2011. The impact of topography on soil properties and yield and the effects of weather conditions. Precision Agriculture, 12(6):813–830.
- Liu, Y; Swinton, S.M. & N. Miller. 2006. In site-specific yield response consistent over time? Does it pay?. Amer. J. Agr. Econ., 88:471-483
- Raun, W.R., and G.V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91:357-363.