

Variabilidad topográfica y fertilización variable de nitrógeno en maíz

*Ing. Agr. David Melión
Agosto 2019

Introducción

Los rendimientos de maíz difieren según la posición en el perfil topográfico, que ofrecen diferente oferta de recursos para el cultivo. Esto permite separar los ambientes en función de criterios coincidentes para su manejo en particular (Doerge, 1999). Los rendimientos alcanzables de diferentes ambientes determinan requerimientos de nutrientes distintos. Es imperioso conocer los mismos y la oferta del suelo en cada uno de sus ambientes, para determinar las necesidades de fertilización. El análisis de suelo es la herramienta fundamental para determinar los niveles de fertilidad de cada ambiente y hacer diagnósticos precisos. Asimismo, se debe tener en cuenta como información complementaria, las características climáticas de la zona, del suelo y del manejo del cultivo a realizar.

La necesidad de nitrógeno (N) del maíz es de 22 kg por tonelada de grano producido (García *et al*, 1997). El fertilizante nitrogenado es uno de los principales insumos y costos en la producción de maíz, lo que hace necesario contar con herramientas que permitan determinar la dosis óptima económica de N, es decir, la cantidad de N que maximiza la renta de este cultivo (Pagani *et al*, 2008, Jaynes *et al*, 2011). Si se observan diferencias de rendimientos según posición en el relieve y se utiliza la misma cantidad de fertilizante se hace un uso ineficiente del insumo. El rendimiento de maíz está determinado principalmente, por el número final de granos logrados por unidad de superficie, el cual es, entre otras variables, función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del período de floración (Andrade *et al*, 1999). El maíz debe lograr un óptimo estado fisiológico en dicho estadio, con cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa y una adecuada disponibilidad de nutrientes, ayuda a esta condición.

En lotes con variabilidad topográfica de Bragado, se pueden encontrar diferencias muy pronunciadas en el rendimiento de maíz entre loma y bajo. La agricultura de precisión comprende la aplicación de tecnologías para gestionar la variabilidad espacial y temporal con el fin de mejorar la eficiencia en el uso de los insumos, preservando la calidad ambiental (Pierce y Nowak, 1999). El uso del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) es muy utilizado para diferenciar zonas de manejo (ZM) aunque en algunos estudios no se encontró como un indicador lo suficientemente sensible para delinear ZM con respuesta diferencial a la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, cuando la variabilidad es relativamente baja o moderada (Girón *et al*, 2018).

Este trabajo, tiene como objetivo, demostrar como la variabilidad topográfica afecta el rendimiento de maíz, en la zona de Bragado, en lotes con diferencias visibles en el relieve, proporcionando herramientas y técnicas para manejar la fertilización nitrogenada de manera diferencial en el cultivo de maíz.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en un lote ubicado sobre Ruta Nacional Nro. 5, km 233, cercano a la localidad de Comodoro Py, en el partido de Bragado, provincia de Buenos Aires. Se sembró el día 8 de octubre de 2018 bajo la modalidad de siembra directa con maquinaria del productor, sobre un suelo Serie Norumbega, *Hapludoléntico*, profundo, Clase IIIs. La densidad de siembra buscada fue 80.000 semillas ha⁻¹ con distanciamiento entre hileras de 52.5 cm.

Los ambientes fueron separados utilizando imágenes satelitales del lote, con lecturas de NDVI de tres años previos y relacionando las mismas con la historia productiva del lote, herramientas de fácil acceso y bajo costo para los productores. Con esta información se delimitaron las ZM, y en las mismas se realizó el muestreo de suelos y la determinación de agua inicial. En la tabla 1 se presentan los resultados de los análisis de suelo realizado en los ambientes contrastantes, bajo y loma.

Tabla 1: Resultados de análisis de suelo por ambientes

Loma	Prof (cm)	MO %	Nt %	pH	P (ppm)	N-NO3 (ppm)	S-SO4 (ppm)	Kg N	N (0-60)
	0-20	2,32	0,13	6	9	14,5	7,2	36,25	64,89
	20-40					7,9		19,75	
	40-60					3,6		8,89	
Bajo	Prof (cm)	MO %	Nt %	pH	P (ppm)	N-NO3 (ppm)	S-SO4 (ppm)	Kg N	N (0-60)
	0-20	2,73	0,16	6	5,5	12,4	6,2	31,00	58,91
	20-40					7,7		19,25	
	40-60					3,5		8,66	

Se registraron las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo (Gráfico 1). Como ya se mencionó, se determinó el agua gravimétrica en ambas ZM en el momento de la siembra (Figura 1).

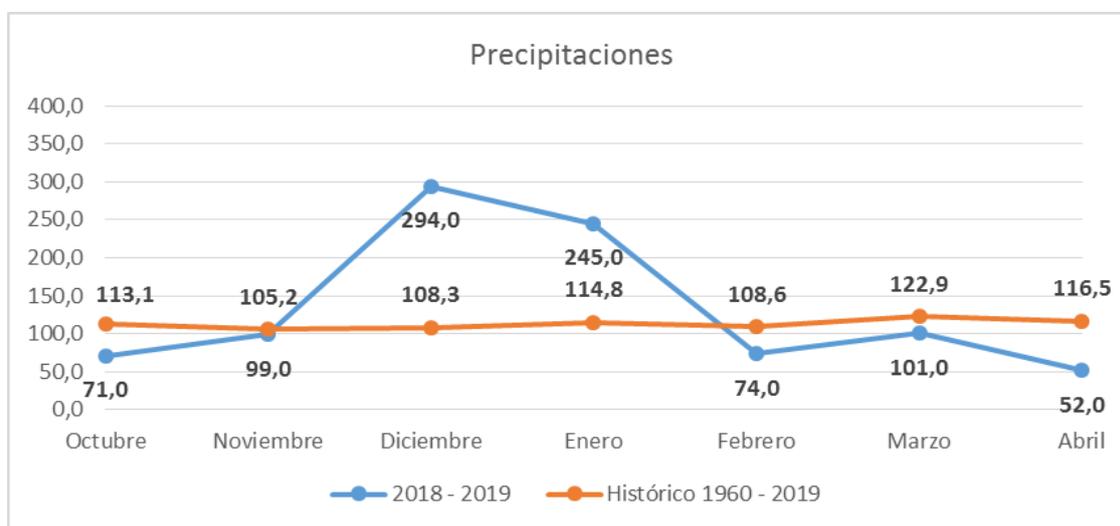


Gráfico 1: Precipitaciones en mm de la campaña 2018 - 2019 y precipitaciones históricas 1960 a la fecha

Los tratamientos que se llevaron adelante en ambas ZM fueron: T: Testigo 0N; T1: 50N; T2: 120N, T3: 190N; donde N es cantidad de nitrógeno aplicado con fertilizante utilizando como fuente la urea aportada en el estadio de dos hojas expandidas. El híbrido utilizado fue SYN 875 Viptera. La fertilización fosforada se hizo al momento de siembra, de manera localizada buscando agregar 30 kg ha⁻¹ de fósforo (P). Se agregó azufre (S) con sulfato de calcio, buscando como objetivo 14 kg ha⁻¹ de S.

El diseño del ensayo fue en bloques al azar con tres repeticiones. El análisis estadístico se hizo mediante ANOVA.

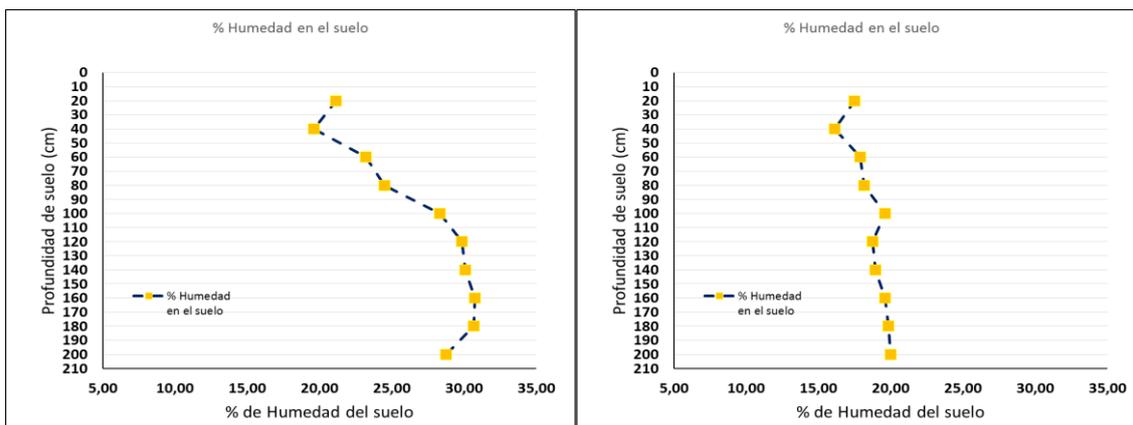


Figura 1: Contenido de agua gravimétrica de los dos ambientes del ensayo

Resultados y discusión

La respuesta al rendimiento estuvo determinada por los diferentes niveles objetivo de N y por las zonas de manejo que difirieron significativamente entre sí ($p < 0.0001$), no habiendo interacción entre ambas variables. El valor máximo de rinde se dio en el ambiente de bajo con la dosis 190N siendo de 14145 kg ha^{-1} , mientras que el mínimo fue en el ambiente de loma, con un valor de 7202 kg ha^{-1} correspondiendo al testigo del ensayo. El rendimiento promedio del ensayo fue 10425 kg ha^{-1} . El detalle de los rendimientos por tratamiento se puede ver en el gráfico 2.

Los rendimientos obtenidos en ambas ZM fueron satisfactorios y se consideran excelentes para la zona de Bragado. Esto se debió a que desde el comienzo, el cultivo contó con buena disponibilidad de agua inicial, y tuvo precipitaciones durante su ciclo y particularmente alrededor de floración que le fueron muy convenientes y por encima del promedio histórico para los meses de diciembre y enero.

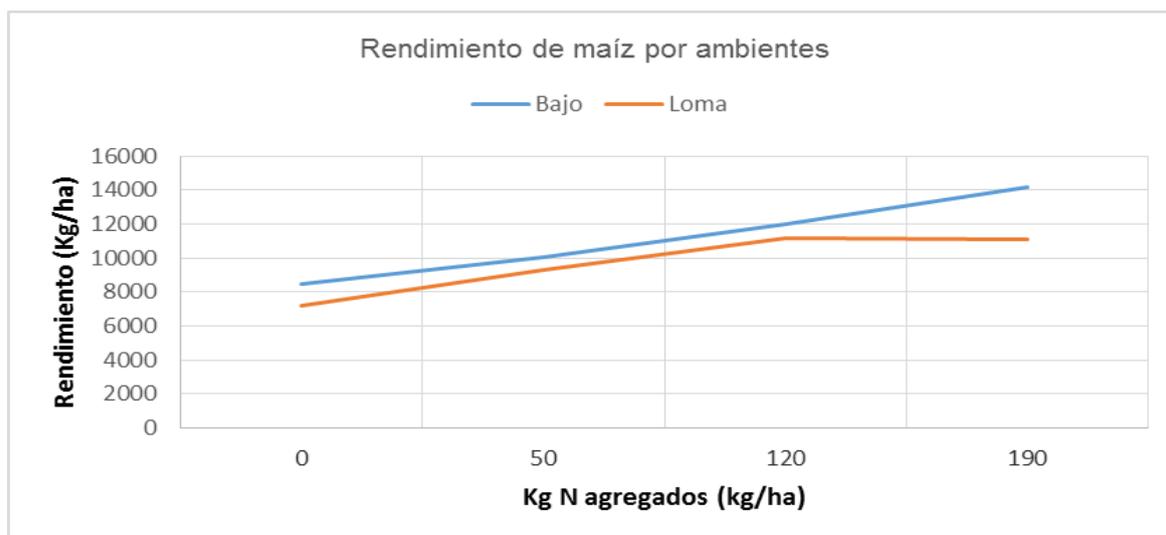


Gráfico 2: Rendimiento en kg ha^{-1} de los tratamientos Dosis N en los ambientes bajo y loma

En la tabla 2 se presentan los resultados económicos en cada ZM. Si se analiza la misma, se deduce que para la loma el mayor beneficio en rinde de la práctica, se encuentra en el tratamiento 120N, mientras que para el bajo, el mayor rendimiento se da con el tratamiento 190N. Se presentan los precios del maíz y de la urea usados para

el cálculo de los ingresos marginales de cada tratamiento de dosis N. Las curvas de repuesta al N en cada ambiente nos permiten interpretar, por su pendiente, la capacidad que tiene el maíz de incrementar su rendimiento al agregado de N (Gráfico 2). Se puede diferenciar dos escenarios en función de la disponibilidad hídrica y la repuesta al N. En el bajo, cuando no tiene limitantes hídricas se maximiza el rendimiento, frente a la situación contrastante, la loma, donde en algún momento de su ciclo, el balance hídrico puede ser menos favorable y el cultivo deja de responder al agregado de N. En este último caso, el tratamiento de 190N no produjo incrementos en el rinde.

En consecuencia, ante igual precio de maíz los ingresos difieren según la topografía. Poder utilizar el NDVI de imágenes de años previos para la delimitación de los ambientes en una escala de lote y para la toma de decisión del productor permite manejar la fertilización nitrogenada obteniendo beneficios frente a hacerlo de manera uniforme en todo el lote. La diferente proporción de superficie con relieve contrastante puede justificar en mayor o menor medida la necesidad de armar las ZM. Debe tenerse en cuenta que las diferentes topografías generan una historia de extracciones acumuladas por parte de los cultivos que puede verse reflejada en el contenido diferencial entre ZM de materia orgánica y de nutrientes como el P que no son tenidas en cuenta en este trabajo, pero pueden modificar la capacidad de repuesta del cultivo al N.

Tabla 2: Precios y análisis económico de la aplicación de nitrógeno en cada ambiente

TC	43,00					
Px Maíz	\$	149,76				
Px Urea	\$	420,00				
Dosis N	Bajo	Diferencial KG	Incremento U\$S	Costo Adicional U\$S	Dif U\$S	
0N	8452,50	0				
50N	10077,50	1625,00	\$ 243,36	\$ 45,65	197,71	
120N	11977,50	3525,00	\$ 527,90	\$ 109,57	418,34	
190N	14145,00	5692,50	\$ 852,51	\$ 173,48	679,03	
Dosis N	Loma	Diferencial KG	Incremento U\$S	Costo Adicional U\$S	Dif U\$S	
0N	7202,50	0				
50N	9292,50	2090,00	\$ 313,00	\$ 45,65	267,35	
120N	11182,50	3980,00	\$ 596,04	\$ 109,57	486,48	
190N	11075,00	3872,50	\$ 579,95	\$ 173,48	406,47	

Existe la posibilidad de manejar la fertilización en forma variable tanto con equipos automáticos como manuales. La complejidad de la maquinaria no debe ser una limitante para la toma de decisión. Utilizar dos dosis distintas en sectores bien delimitados dentro de un lote, está al alcance de cualquier productor que así lo decida. Actualmente, se dispone de tecnología de avanzada para realizar este tipo de trabajos, con equipos autopropulsados y con sistemas de distribución del fertilizante que aseguran una excelente calidad de aplicación, incluso pudiendo registrar el trabajo para mayor seguridad del productor que garantiza el éxito de esta inversión.

Conclusiones

- En la escala de toma de decisión de un productor, a nivel de lote con diferencias visibles en la topografía, usar las imágenes satelitales como una herramienta de diferenciación de ambientes y generar un área de muestreo de suelos para ajustar la fertilización nitrogenada es una alternativa práctica, eficiente y de bajo costo que permite ajustar el manejo del cultivo, maximizando los márgenes en todas las ZM.

- Los rendimientos de maíz se asocian negativamente a la altura dentro de los lotes. Al momento de planificar este cultivo, se debe tener en cuenta la proporción de loma y bajo que el lote posee y ajustar la toma de decisión en cuanto al nivel de inversión a realizar.

- Manejar el nitrógeno con diferentes dosis según ambiente produce beneficios no sólo económicos sino también ecológicos, lo cual es muy importante, dado que aplicar las dosis precisas permite optimizar las dosis reduciendo pérdidas que pueden generar perjuicios al medio ambiente.

Bibliografía

- Andrade, F.H; C. Vega; S. Uhart; A. Cirilo; M. Canterero and O. Valentinuz. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci* 39:453-459.

- Doerge, TA. 1999. Management Zone Concepts. S.I: Potash & Phosphate Institute. Site-Specific Management Guidelines 2, 4 p.

- García F., K. Fabrizzi, M. Ruffo y P. Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

- Girón, P.; A. Pagani. 2018. Evaluación del índice de vegetación diferencial normalizado para delinear zonas de manejo de nitrógeno para el cultivo de maíz.

- Jaynes D.B., T.C. Kaspar y T.S. Colvin. 2011. Economically optimal nitrogen rates of corn: management zones delineated from soil and terrain attributes. *Agron. J.* 103: 1026-1035.

- Land viewer. 2018 <https://eos.com/landviewer/?lat=-35.27064&lng=-60.64144&z=13>

- Pagani, A.; H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas y P.A. Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo.* 26(2): 183-193.

- Pierce, FJ & P Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. EN: Spark, D. (Ed) *Advances in Agronomy.* San Diego: Academic Press. 67: 1-85.



Vista comparativa de espigas de los distintos tratamientos en el bajo.



Vista del ensayo