

Nutrición y agricultura por ambientes: Avances en el sur de Buenos Aires

G. Vázquez Amabile¹, M. Gonzalo², M. Pella³, G. Cueto⁴ y S. Galbusera¹

AACREA – Área Investigación y Desarrollo, 2 Limagrain Argentina S.A., 3 Agroservicios Pampeanos S.A. (Pieres), 4 Agropecuaria Seis Robles SRL.
gvazquez@crea.org.ar

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en varias zonas de la región pampeana, el avance de la agricultura sobre la ganadería, y su consecuente abandono de la rotación con praderas, ha ido dando lugar a un replanteo del uso del alambre perimetral, en forma de cuadros, como elemento de división entre lotes de aptitud agrícola.

Paralelamente, y con el afianzamiento de la agricultura continua, ha ido también avanzando el concepto de “Agricultura por Ambientes” reemplazando la planificación tradicional de potreros cuadrados, por un criterio nuevo de división entre unidades agrícolas. Este criterio implica la redefinición de los límites de potrero de acuerdo a “ambientes” o unidades de paisaje que tienen potencialidades y limitaciones distintas, por ejemplo separando los bajos de lomas, suelos profundos de suelos someros, etc.

El sur de la provincia de Buenos Aires no ha sido ajeno a esta tendencia y se va extendiendo gradualmente una forma de planificación en la cual se asignan rotaciones distintas a unidades de paisaje que presentan limitantes y potencialidades contrastantes. En este sentido, cultivos como el maíz y el girasol se ubican preferentemente en posiciones de hondonadas, y la soja, los cultivos de cosecha fina y soja de segunda en posiciones de loma. Esta planificación por ambientes confiere mayor estabilidad entre años al rendimiento promedio de un establecimiento. Vale decir que el criterio antedicho considera no solo el potencial de producción, sino también el grado de variabilidad interanual y requiere de antemano identificar cuál o cuáles son los factores limitantes para los distintos cultivos.

Sin embargo, también en los últimos años, de la mano del GPS y sus múltiples aplicaciones, la tecnología nos pone ante el desafío de lo que comercialmente se denominó como “agricultura de precisión”, y que preferentemente deberíamos denominar como “Manejo Sitio-Específico”. En este aspecto, la fertilización en dosis variables y siembra en densidades variables, vienen siendo

las dos prácticas propuestas más conocidas en agricultura extensiva, no exentas de dificultades a la hora de ser aplicadas.

El manejo sitio-específico en el sudeste de Buenos Aires

El salto del lote rectangular a la “planificación por ambientes” ha sido, sin duda, un cambio significativo en la forma de planificar un establecimiento, e implica un análisis agronómico cuya solución varía de una zona agroecológica a otra (pampa arenosa, pampa ondulada, pampa serrana, Chaco, etc.).

Sin embargo, lo que se denomina hoy como “Manejo Sitio-Específico”, tiene un grado de complejidad mayor, ya que implica “hilar más fino” con el fin de poder asignar distintas dosis, dentro de un mismo “ambiente o unidad de paisaje”, conforme a la potencialidad y disponibilidad de nutrientes de subunidades “de suelo”. Decimos “de suelo” precisamente porque dentro de una unidad de paisaje (loma extendida, por ejemplo) las diferencias que presentan cierta “consistencia en el tiempo” suelen deberse fundamentalmente a diferencias en el perfil del suelo (unidad taxonómica de suelo por definición). No obstante, algunos autores (Díaz-Zorita y Duarte, com. pers.) han encontrado heterogeneidades debidas a “historia de lote”, a la hora de unificar en un mismo ambiente lotes de igual suelo, pero con historias distintas de uso y manejo.

Un estimador “empírico” de la potencialidad productiva puede ser el uso de mapas de rendimiento. No obstante, pretender identificar diferencias de potencial productivo en función de un único mapa de rendimiento, por ejemplo del cultivo anterior, encierra el riesgo de no ser exacto si las variaciones de rendimiento se han debido a cuestiones culturales tales como desuniformidad en la siembra, enmalezamiento por manchones, enfermedades o plagas no identificadas en manchones, granizo, heladas, etc. Debe recordarse

que el rendimiento es la “resultante” de la conjunción de varios factores. De modo que el uso de mapas de rendimiento, de gran ayuda por cierto, implica tener una serie histórica de este tipo de registros, donde se pueda identificar, y luego validar en el potrero, los sitios de mayor o menor potencial productivo, su consistencia en el tiempo y sus causas (posición en el relieve, capacidad de retención de agua, profundidad efectiva, etc.). De no ser así, por ejemplo, la implementación de un manejo sitio-específico de nutrientes, en base a áreas identificadas incorrectamente, podría introducir “un ruido adicional” a la hora de explicar la variabilidad del próximo mapa de rendimiento.

A la luz del conocimiento agronómico actual, no parece descabellado considerar a la “serie de suelo” como unidad discreta para identificar limitantes y potencialidades de rendimiento dentro de un paisaje. La complicación que esto implica “en la práctica”, es que un mapa muy detallado de suelo, no es algo sencillo de realizar a la hora de separar series puras en asociaciones o complejos edáficos.

Sin embargo, hay zonas en las que la tecnología actual nos permite separar series de suelo. Este es el caso de la zona sudeste de Buenos Aires, donde gran parte de las series de suelos de aptitud agrícola descritas por INTA, difieren entre sí, por su profundidad efectiva, es decir, por la profundidad de la capa de tosca o piedra. Los suelos profundos de esta zona difieren en otras características, pero podría decirse que identificar la variabilidad en la profundidad efectiva de los suelos en esta zona, ha dejado de ser una limitante.

Manejo sitio-específico, fertilización variable y sustentabilidad

La posibilidad de aplicar fertilizantes en forma diferencial en sectores del lote con distinto potencial productivo, tiene sentido desde el punto de vista de la asignación eficiente de recursos a un cultivo, no solamente desde el aspecto económico, sino también desde el punto de vista del impacto ambiental.

La aplicación en exceso de un fertilizante nitrogenado que no es aprovechado por el cultivo, deja abierta la posibilidad a su pérdida por lixiviación a la napa freática o por escurrimiento a cursos o cuerpos de agua superficial. Este proceso se conoce como riesgo de polución difusa.

Adicionalmente, una cuestión relativamente nueva es el cálculo de las emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI) de todas las actividades antrópicas, a la cual la agricultura no está ajena. Los gases emitidos por la actividad agrícola proceden de varias fuentes tales como combustible utilizado, mineralización del carbono (C) del suelo y residuos de cosecha y, fundamentalmente, por las emisiones de óxido nitroso que proceden de la fertilización nitrogenada.

De modo tal que la tecnología de aplicación variable de nitrógeno (N) en cultivos extensivos, ofrecería algunas oportunidades tales como:

- Optimizar el uso de fertilizantes en base al potencial productivo diferencial dentro de un lote de producción
- Minimizar el contenido de N residual en sectores de menor potencial y sus posteriores pérdidas por lixiviación y volatilización
- Optimizar las emisiones de GEI producida por óxido nitroso y hacer más eficiente la relación insumo aplicado/ C secuestrado.
- Maximizar el resultado económico del cultivo fertilizado.

Sin embargo, esta tecnología, para la cual existen las herramientas de aplicación, encierra un desafío debido a que:

- No es sencillo identificar un factor limitante del sistema que sea consistente en el tiempo y que sea mapeable (discreto).
- No es sencillo asignar el potencial productivo para distintos sectores de diferente aptitud
- El esfuerzo para realizar todo esto requiere más conocimiento y más detalle del lote de producción que el requerido en un manejo tradicional de dosis uniforme.

En el presente trabajo se presenta un caso de estudio realizado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, con el fin de analizar el resultado de las estrategias de fertilización variable y uniforme, en cultivos de trigo y cebada, en lotes con presencia de tosca. En tal sentido, se pretende analizar su impacto sobre el rendimiento, el resultado económico y las emisiones de GEIs y la cantidad de N no utilizado por el cultivo.

Un caso de estudio de fertilización variable en suelos con limitantes en la profundidad efectiva

La profundidad efectiva como limitante principal en suelos bien drenados y moderadamente bien drenados del sur de la provincia de Buenos Aires

ocupa una área significativa. Si se analiza el Atlas de Suelos de INTA de la Provincia de Buenos Aires (escala 1:500 000) (INTA, 1995), esta limitante por presencia de tosca, o piedra, abarca 1 331 000 ha en el sudeste y 2 866 000 ha en el sudoeste de la provincia (Figura 1).

La presencia de tosca o piedra en el perfil de suelo confiere una limitación al almacenaje de agua y a la exploración de las raíces. En este sentido, el potencial de producción se ve reducido a medida que disminuye la profundidad del perfil de suelo.

En el caso de estudio que aquí se presenta, se analizó la fertilización variable con urea, como fuente de N, en trigo y cebada, durante las campañas 2011/12 y 2012/13, en lotes de producción con presencia de tosca en el partido de Tandil (3 sitios) y en La Dulce, Partido de Necochea (2 sitios). La hipótesis de trabajo podría resumirse en que la profundidad efectiva de suelo (profundidad de la tosca) sería el factor limitante de mayor relevancia en agricultura de secano, esperando rendimientos crecientes a mayor profundidad de suelo. Esto daría lugar, en el promedio de los años, a una respuesta a la fertilización variable asignando dosis mayores de N a los sectores con suelo más profundo y dosis menores en sectores de suelo someros.

Metodología

El estudio se llevó a cabo en lotes de producción de la empresa Agropecuaria Seis Robles SRL, ubicados en los partidos de Tandil y Necochea. Se seleccionaron lotes en los que se realizó

mapeo de profundidad de tosca con sondeo georreferenciado y observaciones tomadas a una equidistancia de 50 metros.

Los ensayos se realizaron en los cultivos de trigo (variedad Baguette 10) y cebada (variedad Scarlett). La fecha de siembra, densidad de siembra y demás prácticas culturales fueron los habituales en cultivos de alta producción de la zona.

Durante las campañas 2011/12 y 2012/13, se realizaron ensayos del tipo “on-farm” (Mallarino et al., 1997) en 5 lotes de producción de una superficie promedio de 100 ha cada uno. En este período, se analizaron tres lotes en Tandil y dos en La Dulce (Partido de Necochea). Se definieron tratamientos en franjas a lo largo de los lotes de estudio, para fertilización uniforme (manejo tradicional) y fertilización variable para el resto del lote. En el segundo año también se incluyeron franjas testigo sin fertilización nitrogenada posterior a la siembra.

Para definir las dosis de N a aplicar, se determinaron “rendimientos objetivo” para los tratamientos de fertilización uniforme y variable. La dosis uniforme se asignó conforme a un rendimiento objetivo alcanzable de 5000 kg ha⁻¹ promedio para todo el lote, en base a los rendimientos obtenidos en años anteriores en los mismos lotes. En cuanto a las dosis variables, las mismas se asignaron definiendo un rendimiento objetivo, factible, para distintos rangos de profundidad de tosca.

Los rendimientos por rango de profundidad de suelo se estimaron en base a simulaciones con modelos matemáticos de cultivo, previamente validados. Las simulaciones se realizaron con el modelo Ceres Trigo (DSSAT v.4.0), para un período de 37 años, con datos climáticos diarios locales para el cultivo de trigo con N “No limitante”, en secano. La Figura 2 presenta las curvas de probabilidad acumulada de rendimiento para cuatro profundidades de suelo (25, 50, 75 y 100 cm de profundidad efectiva), para el cultivo de trigo sembrado el 20 de Junio, y los valores medios de rendimiento de cada escenario. Estos valores medios se utilizaron para establecer a priori, los rendimientos objetivos y la fertilización correspondiente en el tratamiento de fertilización variable. Los rendimientos simulados de trigo se tomaron como una aproximación a los rendimientos de cebada.

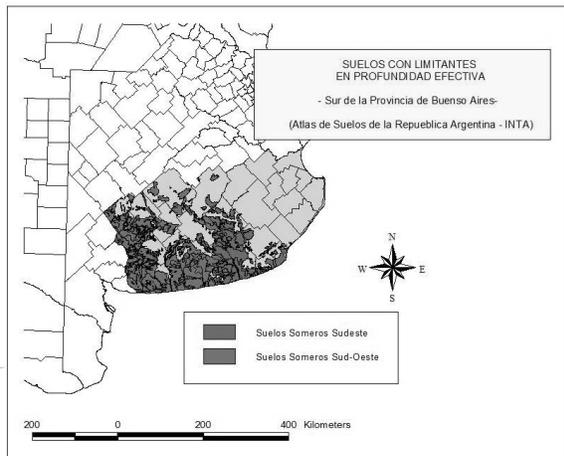


Figura 1. Suelos Someros del sur de la Provincia de Buenos Aires (Fuente: INTA).

Una vez establecidos los rendimientos objetivos para cada rango de profundidad de suelo (Tabla 1), se asignaron los modelos de respuesta a la fertilización nitrogenada utilizados y validados en la zona (González Montaner et al., 1997). Los valores de fósforo (P) extractable (P-Bray I) inicial oscilaron entre las 10 y las 12 ppm y todos los tratamientos recibieron una fertilización de 110 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico a la siembra. En función del rendimiento objetivo, y el N inicial (a la siembra) hasta los 60 cm, se determinaron las dosis de urea a aplicar, a partir del comienzo de macollaje para cada lote en particular.

Seguidamente se procedió a confeccionar, para cada lote, un mapa de prescripción para la aplicación variable de urea, en base a rangos de profundidad de suelo y los rendimientos objetivos establecidos para cada rango. El mapa de prescripción se transfirió al equipo aplicador (Figura 3) para la dosificación variable y posteriormente se chequearon las dosis aplicadas con las prescritas, observando un excelente resultado de la aplicación.

En cada sitio de análisis, se procedió a realizar la cosecha con monitor de rendimiento. Los datos de los mapas de rendimiento se analizaron y se elimi-

naron datos erróneos. Posteriormente se cruzaron los datos de rendimiento con el mapa de tosca y de dosis de aplicación de urea, utilizando varios sistemas de información geográficos (Figura 4).

Los datos de rendimiento fueron analizados estadísticamente mediante modelos mixtos con modelado de la correlación espacial residual. La cantidad de N disponible, la profundidad de tosca y la interacción entre estos factores fueron modelados como factores fijos. Potenciales efectos del relieve, no tenidos en cuenta por la profundidad de tosca, fueron testeados como efectos fijos en cada sitio. Los errores residuales se modelaron permitiendo correlación espacial entre estos errores. Distintos modelos de correlación espacial fueron evaluados para cada sitio, comenzando por los modelos isotrópicos más sencillos hasta el comportamiento de modelos anisotrópicos complejos con efecto "nugget" o de la clase matérn, descriptos en detalle en Haskard (2007).

La utilización de modelos que contemplan la correlación espacial existente es un método muy eficiente de aumentar la precisión de las estimaciones. Puntos cercanos en el espacio usualmente están correlacionados por lo que uno actúa de alguna

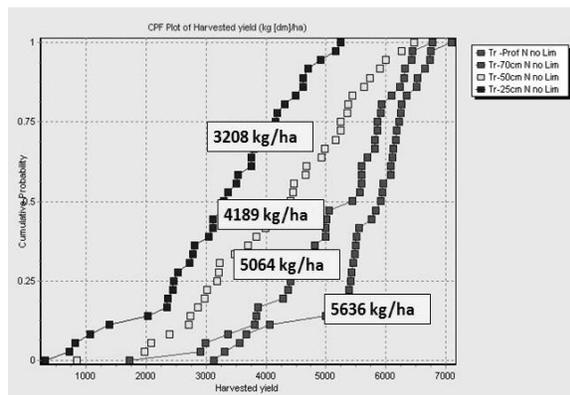


Figura 2. Rendimientos simulados con Ceres Trigo para el periodo 1974-2010 para cuatro profundidades de suelos y N no limitante.



Figura 3. Equipo de aplicación variable utilizado en las dos campañas de análisis.

Tabla 1. Definición de rendimientos objetivo para dosis variables y uniforme en los sitios de estudio, según rangos de profundidad de tosca.

Rango de profundidad de tosca	Dosis Variable		Dosis Uniforme	
	Rendimiento objetivo	Modelo N	Rendimiento objetivo	Modelo N
cm	kg ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹
20-40	3300	100-Ni	4950	150-Ni
40-60	4125	125-Ni	4950	150-Ni
60-80	4950	150-Ni	4950	150-Ni
80-100	5940	180-Ni	4950	150-Ni
>100	5940	180-Ni	4950	150-Ni

manera como “pseudo-repetición” del otro. El software utilizado fue Asrem1 version 2 (Gilmour, 2006).

A fin de determinar el impacto económico de la fertilización variable en los sitios de estudio, se analizó también el margen bruto en dólares por ha para todos los puntos de análisis de los mapas de rendimiento, tomando el valor de trigo o cebada de pizarra del puerto de Quequén, descontando gastos de comercialización y gastos de cultivo. El único gasto que varió para todos los puntos fue el fertilizante nitrogenado (urea con un precio de 600 USD t⁻¹). El análisis estadístico usado para los datos de margen bruto fue el mismo que para los datos de rendimiento.

Finalmente se determinaron las emisiones de GEI siguiendo la metodología IPCC (2006) para todos los sitios de estudio. Las emisiones se calcu-

laron en toneladas de CO₂ equivalente por unidad de superficie y por tonelada de grano producido.

Resultados y discusión

Del análisis del rendimiento de todos los ensayos, se observa que el rendimiento aumentó con la profundidad de suelo y con la aplicación de N, pero no hubo interacción entre ambas variables. El gráfico de la **Figura 5** muestra el aumento de rendimiento promedio a través de sitios respecto a la profundidad de tosca.

Las diferencias entre las estrategias de fertilización Uniforme y Variable fueron significativas en algunos sitios y no en todos los rangos de profundidad de suelo (**Tabla 2** y **Figura 6**).

Los rendimientos objetivos en dosis uniforme no fueron, en general, alcanzados y los rendimientos en sectores someros fueron similares en ambas estrategias, lo cual inclinaría la balanza a favor de la estrategia de fertilización con dosis variables en rangos de dosis menores, pero resultó ineficiente cuando se aplicó el modelo de 180-N a los sectores de suelo más profundo (**Figura 7**).

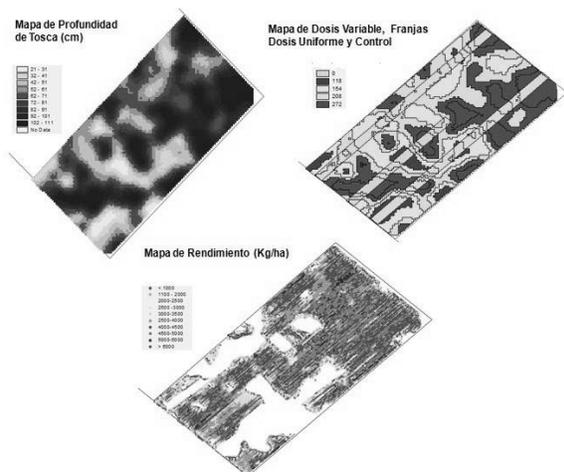


Figura 4. Información georreferenciada utilizada en todos los sitios. La Figura presenta los mapas de profundidad de tosca, de dosis variable por rango de profundidad y de monitor de rendimiento del Sitio “Lote 31, La Dulce, cebada 2012”.

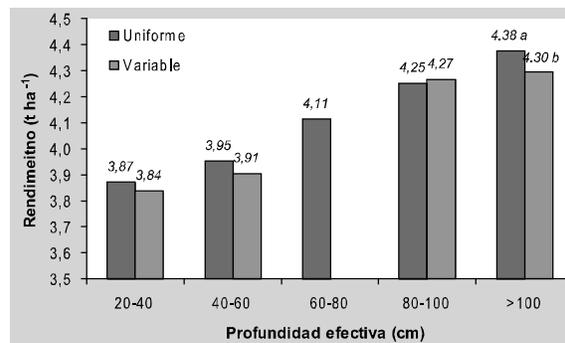


Figura 5. Rendimiento promedio de todos los sitios de estudio, por rango de profundidad efectiva de suelo (tosca), para los tratamientos de fertilización uniforme y variable.

Tabla 2. Rendimiento medio (t ha⁻¹) por sitio y profundidad efectiva (tosca) para cada estrategia de fertilización. Sitios: A: Tandil-trigo 2011 (L31), B: Tandil-cebada 2011(L31), C: La Dulce-cebada 2012(L25), D: La Dulce-cebada 2012(L31), E: Tandil-cebada 2012(L31). Letras iguales dentro de la misma celda indican diferencias estadísticamente no significativas (5%).

Profundidad efectiva	Estrategia de fertilización	Año				
		2011		2012		
		A	B	C	D	E
20-40 cm	Variable (100 - X)	4.40 a	3.61 b	4.25 a	3.87 a	2.55 a
	Uniforme (150 - X)	4.36 a	4.30 a	4.19 a	3.83 a	2.57 a
40-60 cm	Variable (125 - X)	4.49 a	4.22 a	4.17 a	3.66 a	3.10 a
	Uniforme (150 - X)	4.59 a	4.29 a	4.21 a	3.58 a	3.16 a
> 80 cm	Variable (180 - X)	4.84 a	4.37 a	4.43 a	4.42 a	3.34 b
	Uniforme (150 - X)	4.73 a	4.35 a	4.60 a	4.23 b	3.45 a

Margen bruto obtenido

La Tabla 3 presenta los márgenes brutos obtenidos en cada una de las estrategias, calculados para todos los puntos de rendimiento analizado en cada sitio. En los cuatro sitios con cebada hubo diferencias significativas en los márgenes brutos obtenidos, a favor de la dosis variable en sectores someros (hasta 60 cm) con objetivos de 100-X y 125-X, y a favor de la dosis uniforme en sectores profundo donde no se logró el objetivo de 6000 kg ha⁻¹ para 180-X.

Emisiones de gases de efecto invernadero

Siguiendo la metodología de cálculo del IPCC (2006), se determinaron las emisiones de las estrategias uniforme y variable por rangos de profundidad de tosca y promedio para todos los

sitios. Las emisiones provenientes de la descomposición de residuos de cosecha fue del 30%, las emisiones por fertilización promediaron un 62% y las emisiones debido al uso de combustibles en labores fue del 8%. Respecto a esto último debe considerarse que todos los planteos fueron en siembra directa. Estas proporciones prácticamente no variaron en ambas estrategias de fertilización. Sin embargo, las emisiones de GEI, tanto por ha como por tonelada de grano producido (Figuras 8 y 9), fueron mayores para la estrategia de fertilización uniforme en sectores someros del lote. En los sectores profundos, las emisiones fueron mayores para la fertilización variable. En este sentido, la fertilización variable con dosis más ajustadas en sectores someros y dosis no demasiado altas en los sectores profundos parecería ser la estrategia de “mínimo impacto” respecto a emisiones de GEI.

Conclusiones

Este estudio no pretende ser en modo alguno concluyente, sino sumar datos analizados a otros ensayos similares que se realicen en la región. A la luz de los resultados obtenidos, las diferencias de rendimiento halladas entre los tratamientos de aplicación uniforme y variable de urea en cultivos de invierno, fueron menores a las esperadas.

Los rendimientos en los sectores más someros, fueron en general similares en ambos tratamientos. Esto hablaría en favor de la aplicación variable, con dosis menores para sectores con menor potencial de rendimiento, en seco, economizando urea y dejando menor N residual en el suelo. Sin embargo, en sectores profundos, la fertilización variable no superó a la uniforme, ni tampoco logró alcanzar rendimientos objetivos de casi 6000 kg ha⁻¹, en las dos campañas analizadas. De modo que en

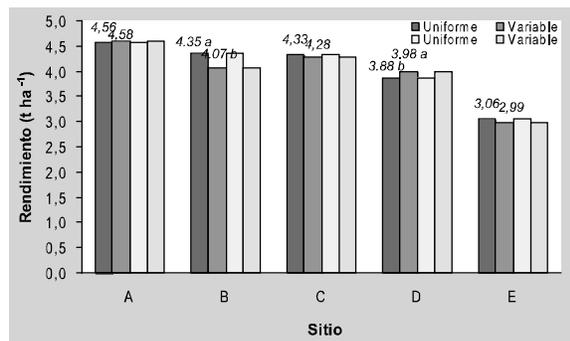


Figura 6. Rendimiento promedio de los tratamientos de fertilización Uniforme y Variable de todos los sitios de estudio. A: Tandil-trigo 2011 (L31), B: Tandil-cebada 2011(L31), C: La Dulce-cebada 2012(L25), D: La Dulce-cebada 2012(L31), E: Tandil-cebada 2012(L31). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (5%)

Tabla 3. Margen bruto medio (USD ha⁻¹) por sitio y profundidad efectiva (tosca) para cada estrategia de fertilización. Sitios: A: Tandil-trigo 2011 (L31), B: Tandil-cebada 2011(L31), C: La Dulce-cebada 2012(L25), D: La Dulce-cebada 2012(L31), E: Tandil-cebada 2012(L31). Letras iguales dentro de la misma celda indican diferencias estadísticamente no significativas (5%).

Profundidad efectiva	Estrategia de fertilización	Año				
		2011		2012		
		A	B	C	D	E
20-40 cm	Variable (100 - X)	418 a	307 b	405 a	312 a	102 a
	Uniforme (150 - X)	374 a	375 a	342 b	261 b	52 a
40-60 cm	Variable (125 - X)	422 a	372 a	370 a	263 a	175 a
	Uniforme (150 - X)	416 a	375 a	345 b	216 b	158 b
> 80 cm	Variable (180 - X)	420 a	333 b	348 b	329 a	153 b
	Uniforme (150 - X)	422 a	370 a	417 a	333 a	212 a

los sectores más profundos, la dosis variable fue menos eficiente que la dosis uniforme.

La profundidad de tosca como criterio para la definición de sitios con mayor o menor potencial no parecería del todo inadecuada, debido a que, en todos los sitios, el rendimiento se incrementó significativamente con el aumento de la profundidad efectiva. Sin embargo, no resultó suficiente para determinar una mayor respuesta en rendimiento frente a mayores dosis de N en sectores más profundos, en cultivos de invierno.

Es probable que para lograr un rendimiento objetivo mayor en sectores de suelo más profundo, sea necesario no solo aplicar una dosis mayor de N, sino también hacer un manejo diferencial de la nutrición, por ejemplo incluyendo fertilizaciones parciales a lo largo del ciclo del cultivo.

Si bien los modelos de simulación de cultivo, aquí utilizados, sirven como primera aproximación para estimar rendimientos objetivos por rango de profundidad de suelo, debe hacerse un ajuste a campo, para lo cual es importante contar con mapas de rendimiento propios de cada lote y acercarse a los rendimientos factibles de obtener y su correspondiente requerimiento nutricional.

En agricultura de secano, las variaciones entre años pueden hacer que una misma estrategia funcione en algunos años y en otros no. Esto es un factor a tener en cuenta en fertilización variable donde se conjugan la variabilidad espacial con la variabilidad interanual. Es decir, en años más bien secos, una estrategia conservadora de fertilización puede ser exitosa y en años lluviosos resultaría poco eficiente. Esta solución de compromiso es difícil de resolver en forma categórica en lotes con variaciones grandes

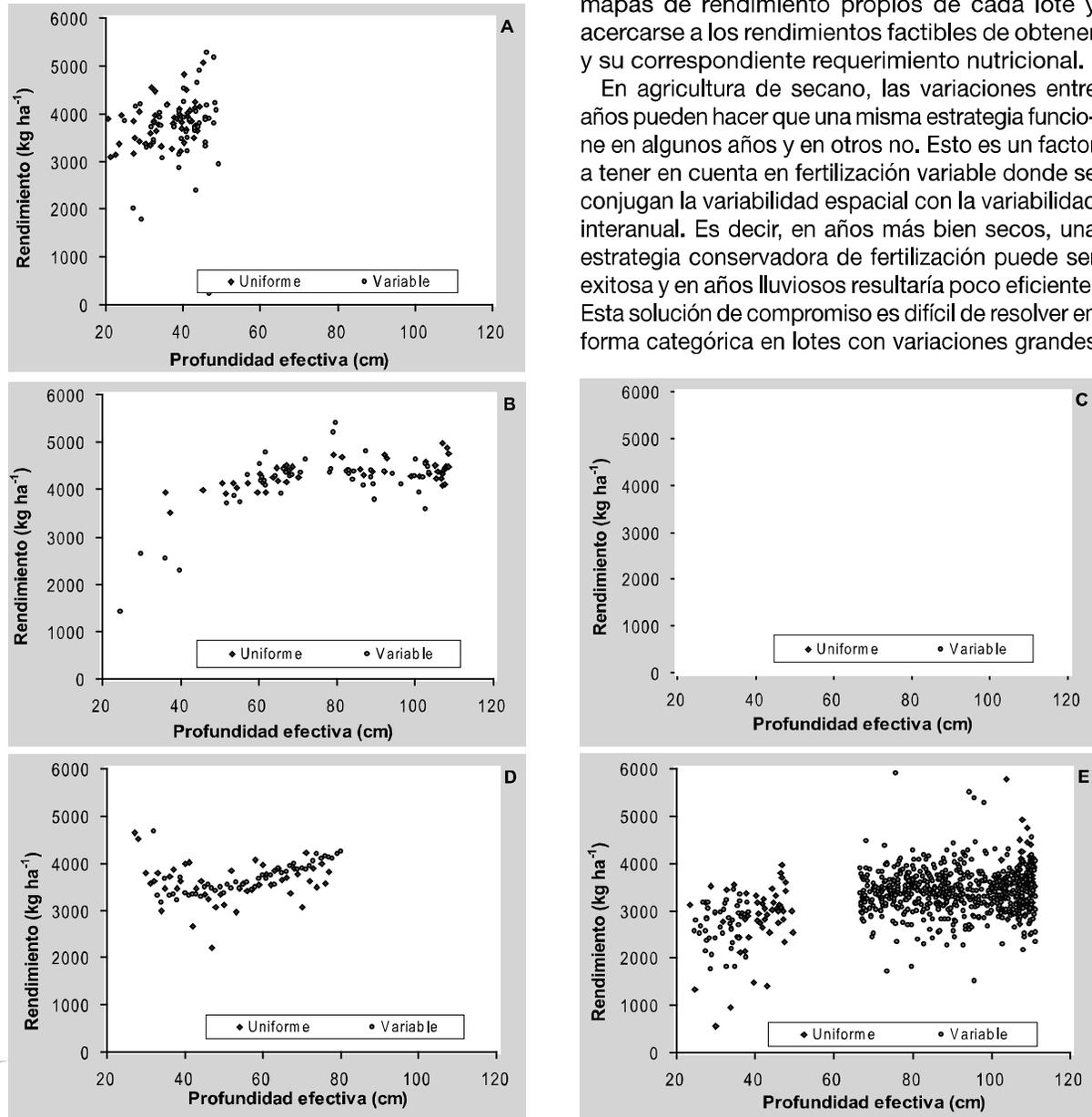


Figura 7. Rendimiento promedio en función de la profundidad efectiva (tosca), para fertilización uniforme y variable, en los sitios de estudio. A: Tandil-trigo 2011 (L31), B: Tandil-cebada 2011(L31), C: La Dulce-cebada 2012(L25), D: La Dulce-cebada 2012(L31), E: Tandil-cebada 2012(L31).

en la profundidad de suelo. Sin embargo, en cultivos bajo riego, ajustar las dosis de N por profundidad de suelo podría llegar a ser más exitoso.

Sería deseable continuar explorando el alcance de estas estrategias en suelos con presencia de tosca, en planteos bajo riego y con manejos nutricionales diversos.

Vale también mencionar que la tecnología actual permite claramente realizar mapeos de la profundidad efectiva de suelos en lotes con presencia de tosca, o piedra, lo cual es una herramienta de gran valor en amplios sectores del sur de la provincia de Buenos Aires. Asimismo, está al alcance del productor la tecnología para asignar dosis variables de fertilizantes con equipo adecuado, de acuerdo a mapas de prescripción. Todo esto unido a la posibilidad de relevar el rendimiento con monitores de cosecha y obtener un gran número de puntos para su posterior análisis con GIS y software estadístico. Como contraparte puede mencionarse que la implementación de la fertilización variable requiere más conocimiento de parte de los técnicos y personal involucrado en la producción agrícola.

Los márgenes brutos estuvieron en estrecha relación con lo observado para rendimiento. En suelos someros, en sólo un sitio la fertilización uniforme resultó en un mejor resultado económico que la fertilización variable. La tendencia a bajos rendimientos en tales suelos hace que el ahorro de N se traduzca en un mejor resultado económico. Por el contrario, en suelos profundos, el margen bruto de la fertilización variable no superó en ninguno de los 5 sitios a la estrategia de fertilización uniforme. Respuestas a N menores que las esperadas y/o la presencia de otros factores que no permitieron el uso eficiente del N resultó en rendimientos menores a los planteados como objetivo para dichos ambientes.

En cuanto a las emisiones de GEI, la fertilización

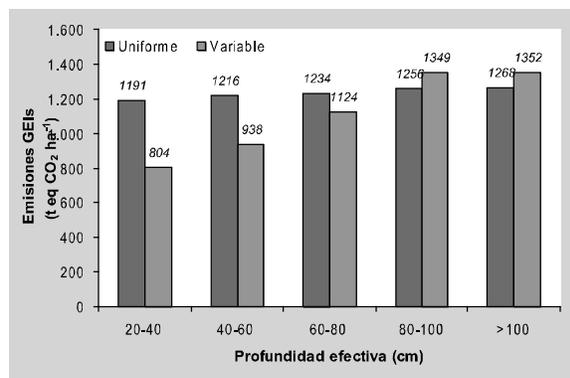


Figura 8. Emisiones totales por ha promedio por rango de profundidad efectiva (tosca).

variable en sectores someros dio lugar a emisiones entre un 25% y 33% menores a la fertilización uniforme. No obstante, en los sectores de suelo profundo, las emisiones fueron mayores en fertilización variable por utilizar dosis mayores de N, sin lograr el rendimiento objetivo.

De los datos analizados parece ser que la fertilización variable en cultivos de invierno sería una estrategia de interés para ajustar las dosis de fertilizante en sectores con suelo somero, pero no resultó exitosa para obtener mayores rendimientos en sectores de suelo profundo de mayor potencial.

BIBLIOGRAFÍA

Gilmour, A.R., B.J. Gogel, B.R. Cullis, y R. Thompson. 2006. Asreml User Guide Release 2.0. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK.

González Montaner, J.H., G.A. Maddonni, N. Mailland, y M. Posborg. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (sudeste de la provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 9:41-51.

Haskard, K.A., B.R. Cullis, y A.P. Verbyla. 2007. Anisotropic Matérn correlation and spatial prediction using REML. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 12, 147-160.

INTA. 1995. Atlas de Suelos de la República Argentina. Instituto de Suelos, INTA Castelar, Buenos Aires.

IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds.). Publicado por: IGES, Japón. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

Mallarino, A.P., M. Bermúdez, D.J. Wittry, y P.N. Hinz. 2000. Alternative data managements and interpretations for strip trials harvested with yield monitors. In P.C. Robert et al. (ed.). *Fifth Intl. Conf. on Site-Specific Management for Agricultural Systems*. Proceedings. CD-ROM. July 16-19. Bloomington, MN. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

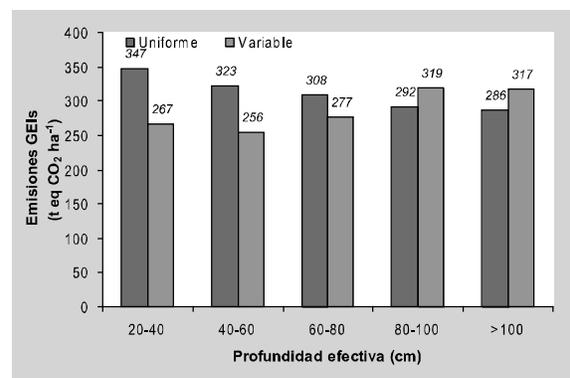


Figura 9. Emisiones por tonelada de grano producido promedio por rango de profundidad efectiva (tosca).