



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

Rentabilidad de la Agricultura de Precisión: estimación de márgenes netos del cultivo de maíz con dosis fijas y variables de insumos

ISSN 1666-0285

Categoría: Trabajo de investigación

Área Temática:

3. ECONOMIA DE LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS y AGROINDUSTRIALES

3.2. Evaluación económica de técnicas y prácticas

Puechagut, María Soledad¹
puechagut.maria@inta.gob.ar

Vélez, Juan Pablo¹
velez.juanpablo@inta.gob.ar

Barberis, Noelia¹
barberis.noelia@inta.gob.ar

Gilletta, Martín Alfredo¹
gilletta.martin@inta.gob.ar

Rentabilidad de la Agricultura de Precisión: estimación de márgenes brutos del cultivo de maíz con dosis fijas y variables de insumos

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ruta Nacional N°9, km. 636, Manfredi, Pcia. de Córdoba. Tel.: (03572) 493039 o 493053/58 - Int. 133.

Resumen

En el mundo surgen continuamente nuevas y mejores tecnologías de agricultura de precisión; éstas son expuestas a diversos tipos de ensayos y pruebas para demostrar su impacto productivo, pero raras veces se evalúan desde el punto de vista económico. Este tipo de análisis puede brindar mucha información sobre la conveniencia o no, en términos económicos, de incorporar las distintas tecnologías en diferentes contextos productivos, ambientales y macroeconómicos.

El objetivo del presente trabajo es analizar y comparar diferentes estrategias de toma de decisiones para la optimización de resultados económicos en el cultivo de maíz, considerando manejos agronómicos con y sin uso de tecnologías de agricultura de precisión, particularmente las de dosis variables de insumos. Se estiman y comparan indicadores de resultados económicos de la producción de maíz con diferentes manejos: insumos con tecnología de dosis uniformes (URT) para todo el lote, versus manejo sitio-específico con tecnología de dosis variables (VRT).

Se realizaron ensayos en el mismo lote desde el año 2003. En cada ensayo se programó la aplicación de dosis de insumos fijas y variables por franjas comparables; para el caso de dosis variables, se plantearon diferentes combinaciones según las necesidades y respuestas predichas en diferentes zonas categorizadas como de potencial alto, medio y bajo. Los insumos que varían son: nitrógeno, fósforo y semillas (densidad).

En base a datos de costos de referencia al momento de la toma de decisiones y precios futuros del producto para cada campaña, se estimaron márgenes brutos por hectárea y totales para las alternativas de dosis fijas y variables. A nivel general, se obtuvieron mejores resultados en márgenes brutos utilizando manejo variable de insumos respecto de la alternativa de dosis fijas.

Abstract

New and better precision farming technologies are continually emerging in the world; they are exposed to various types of tests and trials to demonstrate their productive impact, but are rarely evaluated from an economic point of view. This type of analysis can provide a great deal of information on the economic desirability of incorporating different technologies in different production, environmental and macroeconomic contexts.

The objective of this paper is to analyze and compare different decision-making strategies for the optimization of economic results in maize cultivation, considering agronomic management with and without the use of precision agriculture technologies, particularly those of variable doses of inputs. Indicators of economic outcomes of maize production are estimated and compared with different management: inputs with uniform rates technology (URT) for the complete batch, versus site-specific management with variable rates technology (VRT).

Field tests were conducted in the same batch since 2003. In each assay, the application of fixed and variable input doses was programmed in comparable bands; in the case of variable rates, different combinations were proposed according to the needs and predicted responses in different areas categorized as high, medium and low potential. The inputs that vary are: nitrogen, phosphorus and seeds (density).

Based on reference cost data at the time of decision making and future product prices for each campaign, total and per hectare gross margins were estimated for fixed and variable rates

alternatives. At a general level, better results were obtained in gross margins using variable input management with respect to the fixed-dose alternative.

Sumário

Novas e melhores tecnologias agrícolas de precisão estão continuamente a surgir no mundo; estão expostas a vários tipos de testes e ensaios para demonstrar o seu impacto produtivo, mas raramente são avaliadas de um ponto de vista económico. Este tipo de análise pode fornecer uma grande quantidade de informação sobre conveniência económica de incorporar diferentes tecnologias em diferentes contextos produtivos, ambientais e macroeconómicos.

O objetivo deste trabalho é analisar e comparar diferentes estratégias de tomada de decisão para a otimização dos resultados económicos no cultivo do milho, considerando o manejo agrônômico com e sem o uso de tecnologias de agricultura de precisão, particularmente as de doses variáveis de insumos. Os indicadores de desempenho económico da produção de milho com diferentes manejos são estimados e comparados: insumos com doses uniformes (URT) para todo o lote, versus gestão local específica com doses variáveis (VRT).

Os ensaios foram realizados no mesmo lote desde 2003. Em cada estudo, a aplicação de doses fixas e variáveis foi programada em bandas comparáveis; no caso de doses variáveis, foram propostas diferentes combinações de acordo com as necessidades e respostas previstas em diferentes áreas categorizadas como alto, médio e baixo potencial. Os insumos que variam são: nitrogênio, fósforo e sementes (densidade).

Com base nos dados do custo de referência no momento da tomada de decisão e nos preços futuros dos produtos para cada campanha, foram estimadas margens brutas por hectare e margens totais para alternativas de dose fixa e variável. De um modo geral, foram obtidos melhores resultados nas margens brutas utilizando a gestão de insumos variáveis em relação à alternativa de dose fixa.

Palabras clave: Agricultura de Precisión, márgenes brutos, dosis variables de insumos.

Área Temática:

3. ECONOMIA DE LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS y AGROINDUSTRIALES

3.2. Evaluación económica de técnicas y prácticas

Introducción

Desde sus inicios y a medida que se fueron desarrollando, las diferentes tecnologías de agricultura de precisión han sido objeto de múltiples estudios sobre sus impactos en productividad en diferentes condiciones edáficas y agroclimáticas, básicamente por mejora en rendimientos o por mayor eficiencia en el uso de insumos. Si bien muchas de estas investigaciones arrojan resultados positivos desde el punto de vista productivo y son útiles para promover la adopción de las llamadas AgTech, sería importante que cuenten con el complemento del estudio sobre los aspectos económicos vinculados a la decisión de adopción.

Dichos aspectos no sólo tienen que ver con los potenciales ahorros de costos por eficiencia en el uso de insumos o potenciales incrementos en ingresos por aumento de rendimientos, sino también con los costos y riesgos asociados a la incorporación de las nuevas tecnologías.

Algunas de estas tecnologías prácticamente ya no implican un costo adicional explícito, como la disponibilidad de la información de los monitores de las maquinarias de siembra o cosecha de precisión, dado que prácticamente todos los equipos ya cuentan con esta herramienta. En estos casos, el costo está asociado más bien con los recursos en tiempo y conocimientos necesarios para el procesamiento y aprovechamiento de la información, variable que muchas veces no se considera en el análisis económico de las tecnologías, pero que en la realidad determina en buena medida la decisión sobre su uso.

Muchas tecnologías, además del tiempo y conocimientos que requieren para su utilización, implican también inversiones y riesgos financieros que deben ser tenidos en cuenta en el análisis económico para evaluar la conveniencia de su adopción bajo diferentes condiciones climáticas, de suelos, de escala, macroeconómicas, etc. También es necesario tener en cuenta aspectos vinculados con los costos de inversión, de oportunidad y las depreciaciones de las tecnologías en los casos en que éstas pertenezcan a contratistas de servicios, cómo esto se considera en sus tarifas, entre otros aspectos.

En Estados Unidos y la Unión Europea, los estudios económicos de las tecnologías de AP comenzaron a mediados de los años noventa y se ha avanzado fuertemente en revisiones que los agrupan y analizan para obtener nuevas conclusiones. Los más recientes son, por ejemplo, la publicación “Precision agriculture for sustainability” de 2019, editada por el Dr. John Stafford y publicada por Burleigh Dodds Series in Agricultural Science; el Reporte N°217 de 2016 del USDA, “Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture”, escrito por David Schimmelpfennig; o el trabajo “Smart farming technologies – Description, taxonomy and economic impact” de 2017, de Balafoutis, A.T., Beck, A., Fountas, S., Tsiropoulos, Z., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto-Embodas, I., Gómez-Barbero, M. y Pedersen, S.M., en Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives.

Previamente, entre 2000 y 2004, se publicaron dos recopilaciones con resultados muy relevantes. Por un lado, “Precision Agriculture Profitability Review” de Lambert, D. y Lowenberg-DeBoer, J., del Site-specific Management Center, School of Agriculture, Purdue University y, por el otro, la actualización de Griffin, T., Lowenberg-DeBoer, J., Lambert, D., Peone, J., Payne, T. y Daberkow, S., 2004, “Precision farming: Adoption, profitability and making better use of data”, Triennial North Central Farm Management Conference, KY.

En ambas revisiones, se encontró que alrededor de dos tercios de los artículos de investigación reportaron beneficios positivos de las tecnologías de AP, pero solo el 20% de los mismos incluyeron costos de management, capacitación y capital humano en sus estimaciones de rentabilidad. Las dos revisiones identificaron mejores retornos de la AP para cultivos con manejo más intensivo y con mayores ingresos brutos por unidad de superficie.

Por ejemplo, se muestran mayores retornos para algodón, caña de azúcar y maíz, respecto del trigo en Estados Unidos. También ambos muestran resultados mixtos para fertilización con dosis variables y resaltan la variabilidad en las estimaciones de rentabilidad dependiendo de la combinación de tecnologías de AP y de las metodologías económicas utilizadas².

Estos estudios han estado más bien concentrados en el análisis a nivel de lote y de explotación, pero también son importantes las investigaciones en relación con la sustentabilidad y aspectos socio-económicos a nivel sectorial. Por ejemplo, el nivel de adopción de tecnologías que permitan reducir sensiblemente la cantidad de productos fitosanitarios en la producción de cultivos extensivos tiene efectos mucho más allá de la reducción de costos de insumos para los productores; impacta de manera directa sobre la sustentabilidad ambiental de la producción³.

Por otra parte, a diferencia de Estados Unidos, Canadá y los países de la Unión Europea, en Argentina, se ha llevado adelante gran cantidad de estudios sobre los efectos en productividad de las AgTech, pero es aún bastante incipiente el avance en el análisis de los aspectos económicos de su adopción bajo diferentes condiciones y para distintos cultivos. Si bien buena cantidad de empresas desarrolladoras y proveedoras de tecnologías de agricultura de precisión han realizado estimaciones de resultados económicos de las mismas, es necesario que éstas sean corroboradas y validadas por organismos o entidades independientes para brindar información objetiva e imparcial sobre su potencialidad.

Uno de los estudios económicos realizados en Argentina es el de Pagani, A. et al. (2008), en el que se busca determinar la dosis óptima económica (DOE) de fertilizante nitrogenado para el cultivo de maíz bajo siembra directa en el Sudeste bonaerense, considerando dos momentos diferentes de fertilización. Además, en el trabajo comparan el efecto de la relación de precios Nitrógeno-grano de maíz y la potencialidad del año sobre la definición de la DOE. Otro trabajo mucho más reciente, en una línea similar, es el de Puntel, L.A. et al. (2019), que busca entender qué factores dinámicos y estáticos o relaciones sinérgicas son los que más contribuyen al espacio (entre las posiciones del paisaje) y la variabilidad temporal (entre años) en la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN); se realiza un estudio para comparar la importancia relativa de los diferentes factores estáticos y dinámicos en la DOEN y el rendimiento de maíz, analizando un conjunto de datos de 51 ensayos de respuesta a nitrógeno en el centro-oeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, para finalmente sintetizar el conocimiento adquirido y desarrollar una metodología de predicción para ayudar a la gestión sitio-específica del nitrógeno en la producción de maíz.

En el presente trabajo, el análisis comparativo de resultados económicos entre utilizar o no herramientas de agricultura de precisión se limitará al cálculo de un indicador económico básico como el margen bruto, considerando que el uso de la tecnología de aplicación de insumos variables no requiere actualmente inversiones adicionales en maquinarias respecto de la aplicación en dosis fijas y no se tienen en cuenta las diferencias en conocimientos y dedicación de tiempo entre las distintas alternativas.

Particularmente, se avanza en un análisis sencillo de comparación en los márgenes brutos de producción entre el uso de tecnologías de aplicación de insumos con dosis fijas y variables

² Lowenberg-DeBoer, James (2019). "The economics of precision agriculture", en "Precision agriculture for sustainability", editada por Dr. John Stafford, Silsoe Solutions, UK. Burleigh Dodds Series in Agricultural Science.

³ Terry W. Griffin, Jordan M. Shockley, Tyler B. Mark (2018). "Economics of Precision Farming". Precision Agriculture Basics, 221-230. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc.

(nitrógeno, fósforo y semillas) en el cultivo de maíz, utilizando datos de ensayos realizados en el mismo lote para las campañas 2003/04 y 2010/11.

Tal como se mencionara previamente, en la actualidad casi la totalidad de las maquinarias de siembra y pulverización vienen equipadas con tecnologías para la aplicación de insumos con dosis variables según requerimientos previstos con información previa georreferenciada del lote. Por tanto, las tarifas de servicios de siembra y pulverización no varían entre aplicación con dosis fijas y variables. Sí se requiere, para el segundo caso, dedicar tiempo, tener conocimientos en manejo sitio-específico y contar con información histórica del lote y de otras variables relevantes. Estas diferencias de requerimientos de recursos no pueden ser correctamente reflejadas por los márgenes brutos, por lo que los resultados que arroje el presente trabajo serán relativamente limitados para un análisis apropiado de estas tecnologías; no obstante, brindan información de partida y algunas intuiciones para abordar estudios más complejos en el futuro.

El objetivo del presente trabajo, por tanto, es contribuir a la generación de información económico-productiva que ayude a mejorar las estrategias de toma de decisiones, mediante un análisis y comparación de resultados económicos para el cultivo de maíz, considerando manejos agronómicos con y sin uso de tecnologías de agricultura de precisión, particularmente las de aplicación de dosis variables de insumos, y diferentes condiciones climáticas y de precios.

Metodología

Desde el año 2003, el Grupo de Agricultura de Precisión de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi, viene realizando ensayos de aplicación de diferentes tecnologías de agricultura de precisión en cultivos de soja y maíz en un lote de 45 hectáreas ubicado en las inmediaciones de la localidad de Pampayasta, Provincia de Córdoba, Argentina, dentro de lo que se considera como la Región Semiárida Central de la provincia. En esta región, la precipitación anual media es de 740 mm, de los cuales el 75% ocurre en el semestre más caluroso. El régimen térmico es templado con temperatura media anual de 16.6° C. La temperatura media del mes más caluroso (enero) es de 23.5° C y la correspondiente al mes más frío (julio) es de 9.9° C, dando como resultado una amplitud térmica anual de 13.6° C. El período libre de heladas es de 102 días (carta de suelo 3163-32).

Los suelos del lote pertenecen al complejo de series: Manfredi con capacidad de uso IIIc (30%), Manfredi en fase moderadamente alcalina en profundidad (25%), Oliva (25%) y suelos con alcalinidad sódica subsuperficial (20%) con una capacidad de uso IV ws (limitaciones de drenaje y sodio).

En el presente trabajo se presentará información de los ensayos de maíz de las campañas 2003/04 y 2010/11. Se observa una importante variabilidad de precios y rendimientos promedios entre las dos campañas (Cuadro N°1), lo que impacta de manera directa en los resultados económicos estimados, más allá de las diferencias entre las tecnologías de dosis fijas y variables de insumos.

Cuadro N°1: Rendimientos promedio por hectárea y precio futuro por tonelada (abril año de cosecha), campañas 2003/04 y 2010/11.

	2003/04	2010/11
Rendimiento Promedio (tn/ha)	5,39	6,83
Precio Futuro Abril (USD/tn)	95,34	155,32

Fuentes: resultados de ensayos propios para rendimiento promedio y MATBA para precio futuro.

En cada ensayo se programó la aplicación de dosis de insumos fijas y variables por franjas comparables; para el caso de dosis variables, se plantearon diferentes combinaciones según las necesidades y respuestas predichas en diferentes zonas categorizadas como de potencial alto, medio y bajo. Los insumos que varían son: nitrógeno, fósforo y semillas (densidad).

En el siguiente cuadro se muestran las dosis de cada uno de los tres insumos en el tratamiento de dosis fijas y en el tratamiento de dosis variable considerando las tres zonas con diferente potencial.

Cuadro N°2: Combinaciones de insumos en dosis fijas y variables, campañas 2003/04 y 2010/11.

Insumos variables	Zonas	2003/04	2010/11
Semillas (cantidad/ha)	Dosis fija	76.000	73.000
	Alta Productividad	80.000	73.000
	Media Productividad	60.000	73.000
	Baja Productividad	40.000	47.000
Urea granulada (kg/ha)	Dosis fija	120	180
	Alta Productividad	190	200
	Media Productividad	-	180
	Baja Productividad	-	180
Fosfato diamónico (kg/ha)	Dosis fija	-	60
	Alta Productividad	-	60
	Media Productividad	-	60
	Baja Productividad	-	85

Fuente: elaboración propia en base a datos de ensayos.

En base a datos de costos de referencia al momento de la toma de decisiones y precios futuros del producto para cada campaña (se considera el futuro del mes de abril que se registra a la fecha de siembra), se estimaron márgenes brutos por hectárea y para todo el lote para dos alternativas: por un lado, aplicación de dosis fijas de insumos para todo el lote y, por el otro, aplicación de dosis variables de insumos en tres zonas de diferente potencial de productividad. Se utilizaron los datos de mapas de rendimiento georreferenciados obtenidos de los ensayos y los datos de planteos productivos elaborados por el Área de Economía de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi.

En los modelos presentados en el Cuadro N°3, figuran los valores considerados para cada variable que se considera fija para cada punto georreferenciado de rendimiento de los ensayos (1.000 puntos). Las celdas en gris sin valores corresponden a variables que tienen un valor diferente para cada uno de los puntos georreferenciados ya que dependen del rendimiento, que es diferente en cada punto; por lo tanto, no pueden ser expuestos en el cuadro.

Cuadros N°3: Modelos de estimación de márgenes brutos para las campañas 2003/04 y 2010/11, con aplicación de insumos con dosis fijas y variables.

Precios y Costos 2003/04						
Variable	Detalle	Unidad de Medida	Dosis Fijas	Dosis Variables		
				Zona 1	Zona 2	Zona 3
Rendimiento	<i>Vble. por punto</i>	q/ha				
Precio del maíz	Futuro Abril 2004	US\$/tn	95,34	95,34	95,34	95,34
IB	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
Siembra directa	1 unidad	US\$/ha	19,80	19,80	19,80	19,80
Pulverizadora terr. Fertilizante	2 unidades	US\$/ha	9,00	9,00	9,00	9,00
Pulverizadora terrestre	1 unidad	US\$/ha	4,50	4,50	4,50	4,50
Labores		US\$/ha	33,30	33,30	33,30	33,30
Semillas - Cantidad	76.000/80.000/60.000/40.000	US\$/ha	71,25	75,00	56,25	37,50
Glifosato (l/ha)	6	US\$/ha	13,80	13,80	13,80	13,80
Atrazina 50 (l/ha)	2	US\$/ha	4,80	4,80	4,80	4,80
Acetoclor (l/ha)	2	US\$/ha	12,60	12,60	12,60	12,60
Urea Granulada (kg/ha)	120/190/0/0	US\$/ha	46,80	74,10	0,00	0,00
Insumos		US\$/ha	149,25	180,30	87,45	68,70
Cosecha	Costo por quintal	US\$/q	0,70	0,70	0,70	0,70
Costo de cosecha	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
Transporte	Costo por quintal	US\$/q	2,69	2,69	2,69	2,69
Impuestos-Sellado-Paritaria-Secado-Zarandeo-Comisión Acopio (%s IB)	% del Ingreso Bruto	% IB	3%	3%	3%	3%
Costos de comercialización	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
GASTOS DIRECTOS	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
MARGEN BRUTO	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				

Precios y Costos 2010/11

Variable	Detalle	Unidad de Medida	Dosis Fijas	Dosis Variables		
				Zona 1	Zona 2	Zona 3
Rendimiento	<i>Vble. por punto</i>	q/ha				
Precio del maíz	Fut. 04/11 MATBA (prom. Nov)	US\$/tn	155,32	155,32	155,32	155,32
IB	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
Siembra directa con fert	1 unidad	US\$/ha	31,01	31,01	31,01	31,01
Pulverización terr. Fertilizante	2 unidades	US\$/ha	7,76	7,76	7,76	7,76
Labores		US\$/ha	38,77	38,77	38,77	38,77
Semillas - Cantidad	73.000/73.000/73.000/47.000	US\$/ha	118,63	118,63	118,63	76,38
Glifosato (l/ha)	2,5	US\$/ha	5,63	5,63	5,63	5,63
Atrazina 50 (l/ha)	3	US\$/ha	10,38	10,38	10,38	10,38
Acetoclor (l/ha)	2	US\$/ha	13,76	0,00	0,00	0,00
Fosfato diamónico (kg/ha)	60/60/60/85	US\$/ha	42,45	42,45	42,45	60,14
Lamdacialotrina (l/ha)	0,25	US\$/ha	15,95	15,95	15,95	15,95
Urea Granulada (kg/ha)	180/200/180/180	US\$/ha	95,67	106,30	95,67	95,67
Insumos		US\$/ha	302,46	299,33	288,70	264,14
Cosecha	Costo por quintal	US\$/q	0,79	0,79	0,79	0,79
Costo de cosecha	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
Transporte	Costo por quintal	US\$/q	3,11	3,11	3,11	3,11
Impuestos-Sellado-Paritaria-Secado-Zarandeo-Comisión Acopio (%s IB)	% del Ingreso Bruto	% IB	3%	3%	3%	3%
Costos de comercialización	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
GASTOS DIRECTOS	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				
MARGEN BRUTO	<i>Vble. por punto</i>	US\$/ha				

Fuente: elaboración propia en base a información relevada por el Área de Economía de la EEA Manfredi, de la Revista Márgenes Agropecuarios y de MATBA.

Resultados

Para cada punto georreferenciado de los mapas de rendimiento de cada campaña, se aplicó la fórmula de margen bruto con los modelos de los Cuadros N°3, resultando en márgenes brutos promedios y totales para los dos tipos de planteos de aplicación de insumos.

En el siguiente cuadro, se pueden observar los diferentes valores resultantes de los márgenes brutos. En las primeras columnas, se muestran los valores alcanzados, en promedio por hectárea y en total para todo el lote, aplicando dosis fijas y dosis variables y la diferencia entre ambas alternativas. Las siguientes columnas muestran la comparación entre dosis fija y dosis variable para cada zona de diferente potencial de productividad.

Cuadro N°4: Márgenes brutos de maíz, en promedio por hectárea y totales, para lote completo y para zonas con diferente potencial productivo, con dosis fijas vs. dosis variables de insumos, campañas 2003/04 y 2010/11, en dólares.

		Lote completo			Alta Productividad		Media Productividad		Baja Productividad	
		Dosis Fija	Dosis Variable	Difer.	Dosis Fija	Dosis Variable	Dosis Fija	Dosis Variable	Dosis Fija	Dosis Variable
Margen Bruto Promedio	2003/04	133	175	42	140	177	131	177	126	169
	2010/11	422	463	41	515	549	410	424	270	369
Margen Bruto Total	2003/04	5.982	7.887	1.905	2.231	2.820	2.481	3.371	1.270	1.696
	2010/11	18.971	20.834	1.863	9.516	10.146	6.722	6.948	2.733	3.741

Fuente: elaboración propia.

Se observa que, en las tres zonas de diferente potencial, a nivel general, la alternativa de dosis variable de insumos muestra mejores resultados promedios y totales que la alternativa de dosis fijas.

Conclusiones

Considerando el lote completo y las diferentes zonas, puede observarse que siempre las diferencias en los márgenes brutos, tanto en promedio como para el total del lote, fueron en favor de la utilización de dosis variables de insumos. Es interesante tener en cuenta que estos resultados se dieron aún con una variabilidad considerable de precios y rendimientos entre campañas (Cuadro N°1).

Es necesario tener en cuenta que estos resultados se lograron en un lote que registra un alto nivel de variabilidad en el potencial productivo y en condiciones climáticas y edafológicas específicas. Estos resultados no son extrapolables a todo tipo de lotes, climas y suelos, pero el futuro avance en estimaciones de este tipo para diferentes condiciones puede brindar más información para mejorar los procesos de toma de decisiones productivas en el futuro.

Tal como se comentara en secciones anteriores, si bien este análisis da una primera orientación sobre las diferencias potenciales en términos económicos de utilizar tecnologías alternativas de agricultura de precisión, se trata de indicadores parciales e incompletos en términos de rentabilidad; en futuros estudios se plantea la profundización del análisis, sumando variables e indicadores más complejos.

En un futuro, también se intentará mostrar los resultados de las comparaciones entre diferentes tecnologías convencionales y de agricultura de precisión mediante un mapa georreferenciado de cada lote como una forma novedosa y práctica de visualizar la información y sus variaciones; estos mapas pueden ser la base para el desarrollo de una herramienta de simulación de resultados económicos que le permita a los productores comparar diferentes estrategias de uso de tecnologías e insumos mejorando su proceso de toma de decisiones⁴.

Bibliografía

⁴ Principalmente en Estados Unidos y Canadá, existen muchas herramientas que ofrecen diagnósticos y simulaciones en línea para optimizar la aplicación de nitrógeno en los cultivos de maíz (Adapt-N, desarrollado por Cornell University y comercializado por Yara Internacional; Corn Nitrogen Rate Calculator, de la Iowa State University; N-Manager, de Farmers Edge); éstas sólo se limitan a realizar recomendaciones sobre dosis y momento de aplicación de nitrógeno basadas en modelos con información histórica de los cultivos, el clima y el lote. Un desarrollo más avanzado, que también incorpora variables económicas es el del Midwestern Regional Climate Center: la herramienta Corn Split N, que combina datos históricos del clima y del trabajo a campo con consideraciones económicas para determinar la factibilidad y rentabilidad de completar una segunda aplicación (split) de nitrógeno dentro de un período de tiempo especificado por el usuario.

Boyer, C.N.; Wade Brorsen, B.; Solie, J.B.; Raun, W.R. (2010). *“Profitability of variable rate nitrogen application in wheat production”*. Southern Agricultural Economics Association. Annual Meeting, Orlando, FL, February 6-9, 2010.

Castle, M.H.; Lubben, B.D.; Luck, J.D.; Mieno, T. (2017). *“Precision Agriculture Adoption and Profitability”*. Cornhusker Economics; Agricultural Economics. University of Nebraska–Lincoln. June 21, 2017. agecon.unl.edu/cornhuskereconomics

Erickson, B.; Widmar, D.A. (2015). *“2015 Precision Agricultural Services Dealership Survey Results”*. Sponsored by CropLife Magazine and the Center for Food and Agricultural Business. Dept. of Agricultural Economics, Purdue University. August 2015.

Griffin, T. W.; Lowenberg-DeBoer, J.; Lambert, D.; Peone, J.; Payne, T.; Daberkow, S.G. (2004). *“Adoption, Profitability, and Making Better Use of Precision Farming Data”*. Dept. of Agricultural Economics, Purdue University. Economic Research Service. United States Department of Agriculture. Washington, D.C. Staff Paper #04-06. June 2004.

Griffin, T. W.; Lowenberg-DeBoer, J. (2005). *“Worldwide adoption and profitability of precision agriculture Implications for Brazil”*. Revista de Política Económica. Año XIV – N° 4 – Out./Nov./Dez. 2005.

Griffin, T. W.; Miller, N. J.; Bergtold, J.; Shanoyan, A.; Sharda, A.; Ciampitti, I. A. (2017). *“Farm’s Sequence of Adoption of Information-intensive Precision Agricultural Technology”*. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 33(4): 521-527. American Society of Agricultural and Biological Engineers. ISSN 0883-8542. <https://doi.org/10.13031/aea.12228>

Griffin, T. W.; Shockley, J. M.; Mark, T. B. (2018). *“Economics of Precision Farming”*. Precision Agriculture Basics, 221-230. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc.

Lambert, D.; Lowenberg-DeBoer, J. (2000). *“Precision Agriculture Profitability Review”*. Site-specific Management Center. School of Agriculture. Purdue University.

Lowenberg-DeBoer, James (2019). *“The economics of precision agriculture”*, en “Precision agriculture for sustainability”, editada por Dr. John Stafford, Silsoe Solutions, UK. Burleigh Dodds Series in Agricultural Science.

Melchiori R., Albarenque S. y Kemerer A. (2010). *“Respuesta del cultivo de maíz a cambios en la densidad de siembra y fertilización nitrogenada por ambientes”*. Actualización Técnica N° 2 – Maíz, Girasol y Sorgo 2010. Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos. INTA EEA Paraná.

Moebius-Clune, B.; Carlson, M.; van Es, H.; Melkonian, J. (2013). *“Adapt-N Proves Economic and Environmental Benefits in Two Years of Strip-Trial Testing in New York and Iowa”*. Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University. May 15, 2013.

Pagani, A.; Echeverría, H.E.; Barbieri, P.A.; Sainz Rozas, H.R. (2008). *“Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense”*. Revista Informaciones Agronómicas del Cono Sur #39, Septiembre 2008. International Plant Nutrition Institute (IPNI).

Puntel, L.A.; Pagani, A.; Archontoulis, S.V. (2019). “*Development of a nitrogen recommendation tool for corn considering static and dynamic variables*”. *European Journal of Agronomy* 105 (2019) 189–199.