

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RIEGO COMPLEMENTARIO EN EL PARTIDO DE PERGAMINO

KARINA A. CATALDO

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Pergamino, Argentina

cataldokarina_a@hotmail.com

SILVINA M. CABRINI

INTA, Ruta Nacional 32 km 4.5, Pergamino, Argentina

silvina.cabrini@gmail.com

Recibido 10 de diciembre de 2013, aceptado 16 de febrero de 2014

Resumen

El riego complementario ha sido propuesto como una alternativa para elevar y estabilizar los niveles de producción en la región pampeana núcleo. Los cambios importantes que se produjeron en los últimos tiempos en las condiciones de mercado y de tecnologías disponibles para la producción de cultivos, determinan la necesidad de una actualización en la determinación del valor económico del riego para el productor de la zona de estudio. El objetivo de este trabajo es valorar económicamente la implementación de riego complementario para una rotación maíz-trigo/soja 2^{da} en el partido de Pergamino.

El efecto del riego sobre los rendimientos de los cultivos es estimado a través de modelos de simulación con datos climáticos históricos. El rendimiento y los milímetros regados se utilizan como variables aleatorias en el cálculo de indicadores económicos. Se calcula la distribución de probabilidades para el margen bruto de los cultivos para varios niveles de fertilización y fechas de siembra, en secano y bajo riego y se seleccionan las alternativas superiores para cada cultivo en base al criterio de dominancia estocástica. Se determinan los costos y beneficios de la inversión y se utilizan los criterios del valor actualizado neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

El incremento en el margen bruto que se espera al implementar la práctica de riego con electricidad, es de 48 y 219 u\$s ha⁻¹ para maíz y soja 2^{da} respectivamente. En cambio para trigo, el margen bruto del cultivo regado es, en promedio 110 u\$s ha⁻¹ menor que en secano (En base a precios promedio 2008-2011). La tasa de retorno de la inversión calculada sobre el riego es del 3% para la rotación estudiada. Este valor es relativamente bajo si se compara con la rentabilidad del riego en otras regiones, por lo tanto los resultados obtenidos muestran que la inversión en riego complementario no representaría una alternativa altamente atractiva para la producción de *commodities* en la zona de estudio.

Palabras clave: riego, zona Pampeana Argentina, Valuación económica, riesgo.

ECONOMIC ASSESSMENT OF SUPPLEMENTARY IRRIGATION IN PERGAMINO DEPARTMENT

KARINA A. CATALDO

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Pergamino, Argentina

cataldokarina_a@hotmail.com

SILVINA M. CABRINI

INTA, Ruta Nac. 32 km 4.5, Pergamino, Argentina

silvina.cabrini@gmail.com

Received December 10th 2013, accepted February 16th 2014

Abstract

It is quite common that low water availability in critical crop stages prevents reaching crop yield potential in Argentina's Pampas. Therefore, supplementary irrigation could be an interesting option for increasing crop production and decreasing yield variability.

Recently, changes occurred in agricultural commodity prices and available technology for crop production. Then, an updated evaluation of the economics of irrigation for crop production is of main importance. The objective in this research is to evaluate the benefits of supplementary irrigation for corn/wheat/soybeans farmers in Pergamino department, North of Buenos Aires Province.

Crop yields levels with and without irrigation, and water requirements were obtained from crop simulation models, based on historical distributions for key weather variables. Yield and water requirements are included as random variables in revenues and costs computations. Annual crops' gross margins are computed for several planting dates and fertilization levels, with and without irrigation, and preferred crop management strategies are selected based on the stochastic dominance criteria. Net present value (NPV) and internal rate of return (IRR) were computed to analyze the profitability of the investment in irrigation equipment.

Based on annual gross margins, irrigated crops dominate non-irrigated alternatives for corn and 2nd season soybeans. Expected gross margins increase with irrigation by 48 and 219 u\$ s ha⁻¹ for corn and soybeans, respectively (based on 2008-2011 average prices). Instead, unirrigated wheat dominates irrigated wheat. The IRR of the investment in irrigation equipment for a corn/wheat-2nd season soybeans rotations 3%. This value is relatively low compared to expected returns from irrigation reported for other regions or cropping systems.

Key words: Supplementary Irrigation - Argentina's Pampas - Economic Valuation – Risk

1. Introducción

El riego complementario ha sido propuesto como una alternativa de elevar y estabilizar los niveles de producción en zonas de la región pampeana con disponibilidad de agua de calidad. En la región de Pergamino la ocurrencia de sequías de diferentes magnitudes e intensidades es la causa principal de la variación interanual de los rendimientos de los cultivos. Si bien durante los meses de octubre a abril se reciben en promedio 734mm (76%) de un total de 963 mm de lluvias anuales, durante los meses de diciembre, enero y febrero, las probabilidades de déficit hídrico son mayores, y este periodo coincide con los momentos críticos de determinación de rendimiento para los cultivos de verano (Oficina de Riesgo Agropecuario. Ministerio de Agricultura- www.org.gov.ar). A pesar de que la siembra directa logró un mejor aprovechamiento del agua de lluvia, al tener los suelos cubiertos y libres de malezas durante los barbechos, es común que los cultivos no cuenten con niveles hídricos suficientes para satisfacer sus necesidades de agua (Evapotranspiración del cultivo: ETC) en los momentos críticos.

Las primeras investigaciones sistemáticas para el uso de riego complementario en la zona maicera núcleo se realizaron en la década de 1980 mediante el Proyecto de Cooperación para la Modernización del Sector Agropecuario, SAGyP-IICA, en cuyo marco se desarrolló un componente de estudio sobre la factibilidad técnica, económica y financiera del riego complementario para la región maicera típica [Calcaterra, 2011].

Desde inicios de la década del noventa comienza a difundirse en la región pampeana, la práctica del riego complementario en cultivos extensivos [Montico, 2004]. Esta incipiente adopción apoyó la suposición del proyecto INTA-IICA en cuanto a que la principal restricción para la difusión de la práctica era de tipo financiero hasta ese momento. Según evaluaciones económicas realizadas en los años '90 la tasa interna de retorno de la inversión en riego se estimó en 28% si se comparaba la tecnología de uso actual con la inversión en riego, pero esa tasa disminuía a un 17% si la comparación se hacía con los rendimientos alcanzables con tecnología mejorada de secano [Calcaterra, 2011/Calcaterra, 1995a/Calcaterra, 1995b]

En la actualidad se estima que en el partido de Pergamino existen 4.000 ha bajo riego complementario con agua subterránea, lo que representa un 2% de la superficie del partido destinada a la agricultura. La implementación de riego para la producción de los commodities más importantes en la zona, es muy limitada. En cambio, una alta proporción de la superficie regada se destina a la producción de semillas, de cultivos extensivos y forrajeras, principalmente para el mercado interno. También se produce semilla de contra estación, que es exportada al hemisferio norte. El riego es un insumo clave para estos sistemas de producción que requieren seguridad en la cantidad y calidad del producto. La producción y comercialización de semillas es una actividad de suma importancia en la región de Pergamino-Venado Tuerto, donde se desarrolla un *cluster* semillero que aporta un 75% de producción de semillas del país [Calcaterra, 2011].

En los últimos tiempos se han producido cambios importantes en las condiciones de mercados de insumos y productos agrícolas, como así también en la tecnología disponible para la producción de cultivos, en particular en sistemas de laboreo y características de los materiales genéticos. Estos cambios determinan la necesidad de una actualización en la evaluación del valor económico del riego en la zona de estudio.

El objetivo principal de este trabajo es valorar económicamente la implementación del riego complementario para una rotación maíz-trigo/soja 2^{da} en el partido de Pergamino, dado que estos son los cultivos comerciales predominantes en la zona y representan un manejo intensivo de la producción, al hacer tres cultivos en dos años [Cabrini, Calcaterra, 2008]. Se simula el rendimiento de los cultivos con y sin riego en la zona de Pergamino; se valora económicamente la diferencia de rendimientos y se compara con los costos de implementar el sistema de riego.

2. Datos y métodos

La información sobre los cambios en la productividad de los cultivos en función del agua disponible durante el período de crecimiento de los mismos es un elemento clave en la evaluación económica del riego en sistemas agrícolas [Jones, 2003]. Por lo tanto, para estudiar las ganancias potenciales en rendimiento para la aplicación de riego complementario en los cultivos de maíz, trigo y soja 2^{da} en la zona de Pergamino se utilizaron los modelos de simulación dentro de la carcasa DSSAT, para maíz y trigo el CERES y para soja el CROPGRO; dichos modelos fueron calibrados y validados en Argentina.

Un modelo de simulación es un programa que permite describir, mediante fórmulas matemáticas, diferentes procesos, mecanismos e interacciones que ocurren dentro de un sistema. Los modelos desarrollados para los diferentes cultivos permiten representar conceptualmente una simplificación del sistema de producción, simulando la tasa de crecimiento del cultivo interactuando con las variables de clima, suelo y prácticas de manejo [Guevara et al, 2003].

Dada la elevada complejidad de los sistemas biológicos, es erróneo pensar que podamos representar perfectamente estos sistemas, por lo tanto la modelización está orientada generalmente a ver la respuesta a aspectos precisos como la potencialidad de los distintos materiales genéticos y los efectos de las diferentes prácticas de manejo como la fertilización, fechas de siembra, etc. [Guevara et al, 2000 / Angus, 1990]. Un ejemplo de esta utilidad es la posibilidad de usar esta herramienta para predecir y evaluar la estrategia de riego deficitario en función de la escasez del recurso hídrico [Keating et al, 1991]. Asimismo los modelos no contemplan plagas, malezas ni enfermedades, lo que puede marcar diferencias de rendimiento entre lo simulado y lo observado a campo.

En este estudio se trabajó con la interface SUR 5.0 del modelo de simulación CERES, la cual se desarrolló en la EEA Pergamino a partir de la rutina de estrategia del modelo CERES [Guevara et al, 2000]. El objetivo de la creación de esta interface fue facilitar y agilizar el uso de la rutina de estrategia para ser utilizada en la toma de decisiones de asesores y empresarios agropecuarios. Es un modelo simple que es utilizado con pocos parámetros, optimizado para ser preciso en una región determinada y en un estrecho rango de situaciones de sistemas de cultivos. Los ajustes obtenidos en las evaluaciones previas del modelo definen un buen grado de confiabilidad para las tendencias de respuesta a distintas variables ambientales y de manejo [Guevara et al, 2000]. El programa SUR permite, a través de distintas carpetas, definir las condiciones climáticas, las características del suelo y variables de manejo.

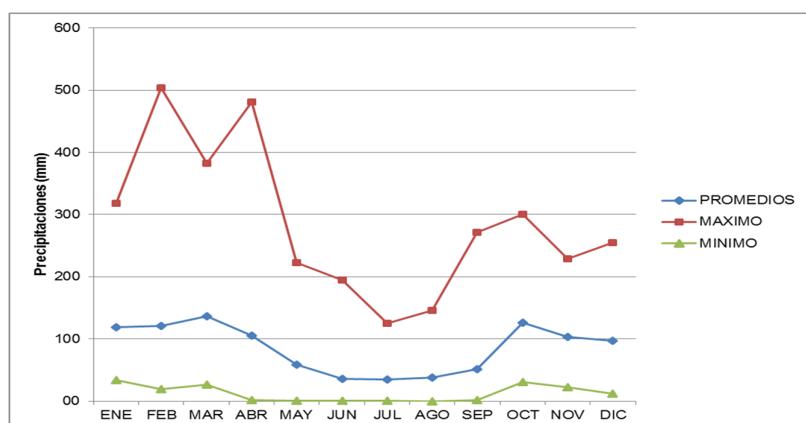
La interface SUR, ofrece la posibilidad de simular los rendimientos de cultivos en secano y bajo riego. Se modela un sistema de riego automático, que riega de manera tal que no exista déficit hídrico en ningún momento del cultivo. Para lograr esto, tiene definido un umbral máximo y mínimo de agua útil en el suelo. Empezando a regar cuando se tiene un

50% del agua útil máxima (AUM) en el suelo¹ y regando hasta completar el 100% del AUM, considerando una profundidad de 80 cm. Con este sistema de riego se busca asegurar que no existan limitaciones hídricas para los cultivos.

En base a los datos climáticos y de suelo disponibles en el programa, y estableciendo los niveles de los demás factores de manejo, se obtuvo por simulación una distribución de probabilidades para el rendimiento de los tres cultivos, maíz, trigo y soja 2^{da}, en diferentes fechas de siembra, con distintos niveles de fertilización nitrogenada (esta interface considera que el fósforo en el suelo no es limitante), en secano y bajo riego.

Se definió la configuración del programa en general y para cada cultivo de la siguiente manera. Se utilizó una serie de 39 años de datos climáticos históricos diarios para 4 parámetros: radiación, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, en la zona de Pergamino. Según los datos obtenidos en la estación meteorológica del INTA Pergamino, el promedio de precipitaciones anuales para el periodo 1967-2005 fue de 1025 mm. La mayor parte de las precipitaciones ocurre en el otoño, verano y primavera. En los meses invernales, junio, julio y agosto, se produce solo un 10% de las precipitaciones del año (Figura 1).

Figura 1. Precipitaciones medias, máximas y mínimas mensuales del periodo 1967-2005, Pergamino, Buenos Aires



Fuente: Estación meteorológica, EEA INTA Pergamino.

Se utilizó en las simulaciones un suelo serie Pergamino. Es un suelo Argiudol típico, profundo, moderadamente bien drenado, con horizonte B textural y suavemente ondulado. Se estima que este suelo retiene aproximadamente, como máximo, 295 mm de agua útil (AUM) y 80.4 KgN ha⁻¹ de nitrógeno disponible, contemplando el suelo hasta los dos metros de profundidad en ambos casos (Tabla 1).

¹ *Agua útil (AU)*: Representa el agua en capacidad de campo menos el agua existente en el punto de marchitez permanente. Es decir el agua retenida en los poros entre 0.2 y 8 micrones.

Capacidad de campo (CC): Representa la máxima capacidad de retención de agua en condiciones de libre drenabilidad.

Punto de marchitez permanente (PMP): Representa el límite inferior para que las plantas puedan extraer agua del suelo.

Tabla 1. Descripción de las características del suelo serie Pergamino, milímetros de agua útil máxima (AUM), disponibilidad de nitrógeno en partes por millón (SLNO), punto de marchitez (SLLL), capacidad de campo (CC) y límite de saturación (SSAT).

Horizontes	Profundidad máxima del horizonte (cm)	Espesor (dm)	Punto de marchitez (SLLL)	Capacidad de campo (CC)	Aqua útil máxima (AUM) (mm)	Límite de saturación (SSAT)	Disponibilidad de nitrógeno (SLNO) (ppm)
Ap	15	1.5	0.181	0.344	24.45	0.401	18.6
A1	27	1.2	0.175	0.346	20.52	0.396	10.1
B1	37	1	0.204	0.397	19.3	0.4	6.6
B21t	70	3.3	0.305	0.381	25.08	0.403	3.7
B22t	90	2	0.263	0.367	20.8	0.408	1.6
B3	160	7	0.165	0.344	125.3	0.408	0
C	200	4	0.159	0.309	60	0.423	0
Total					295.45		

Nota: Las unidades de SLLL, CC y SSAT son unidades volumétricas proporcionales: volumen de agua sobre volumen suelo.

Se definieron los porcentajes de AUM y de N inicial, para cada cultivo, para las distintas fechas de siembra, en base a observaciones a campo relevadas por el proyecto RIAN/RIAP de INTA [RIAN, 2009]. Los valores utilizados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Fechas de siembra, valores iniciales de agua útil y contenido de nitrógeno en el suelo utilizado en los modelos de simulación

Cultivo	Fecha de siembra	AUM	N
Maíz	30-ago	60%	85%
	10-sep	60%	85%
	20-sep	60%	85%
	30-sep	70%	85%
	10-oct	70%	85%
	20-oct	80%	85%
Trigo	20-jun	70%	60%
	5-jul	70%	60%
	20-jul	70%	60%
Soja 2da	18-dic	60%	60%
	5-ene	70%	60%

Nota: Los valores de AUM y N que se presentan en la tabla son porcentajes de los 295mm de AUM que retiene el suelo serie Pergamino y de los 80,4Kg de N que corresponde a disponibilidad máxima de N en dicho suelo.

Para el cultivo de maíz se utilizaron los coeficientes genéticos del híbrido DK670, un híbrido de alto potencial genético. Se definió una densidad de plantas a cosecha de 7 plantas m^{-2} , y se evaluaron diferentes dosis de fertilizante nitrogenado: 0, 50, 100, 150, 200, 250 Kg de Nha⁻¹. Para trigo se utilizó el cultivar CRONOX con una densidad de 300 plantas m^{-2} ; también se evaluaron distintas dosis de fertilización nitrogenada: 0, 25, 50, 75, 100, 150 Kg Nha⁻¹. Por último, para el cultivo de soja se utilizó el cultivar DM 4800 RR MG (4), con una densidad de 30 plantas m^{-2} . En este caso, la soja, no fue fertilizada con nitrógeno. Las fechas de siembras citadas en la Tabla 2, fueron las utilizadas para la simulación de cada cultivo; el rango de fechas definido incluye fechas óptimas y extremas para cada cultivo en la zona de Pergamino (A. Cirilo y F. González –comunicación Personal- 2012; E. Guevara – comunicación personal- 2013).

En base a los datos de los rendimientos simulados por el modelo y los planteos técnicos representativos para la zona (A. Cirilo y F. González –comunicación Personal- 2012); [Cabrini, 2008], se calcularon los márgenes brutos (MB) para cada rendimiento obtenido,

obteniendo las distribuciones empíricas de probabilidad acumulada del MB para cada cultivo, en cada fecha de siembra y nivel de fertilización; en secano y con riego complementario. Para estos cálculos se utilizaron precios promedios del periodo 2008-2012 para insumos y productos (para el costo de mm de riego -con gasoil y electricidad- se utilizaron precios del periodo 2011-2012 porque no se disponía de datos para años anteriores) (Los precios utilizados se detallan en el Anexo: Precios utilizados en el análisis económico de la implementación de riego). El MB se calcula como la diferencia entre ingreso y los costos directos de una actividad, y se expresa por unidad de superficie. Es una medida de resultado económico que permite estimar el beneficio en el corto plazo de una actividad dada, su determinación se encuentra directamente relacionada al cálculo de costos parciales [Guida Daza, 2009]. El diferencial de MB en riego vs secano es un indicador útil para los productores que ya tienen instalado el equipo de riego, como medida de beneficio en el corto plazo.

Para una correcta evaluación de los beneficios del riego para cada cultivo, es preciso comparar los resultados económicos de la mejor alternativa de manejo (fecha de siembra y nivel de fertilización) bajo riego vs. la mejor alternativa en secano. Para seleccionar fechas de siembra y niveles de fertilización óptimos para cada cultivo se utilizó el criterio de dominancia estocástica de 1^{er} y 2^{do} grado. Esta técnica permite comparar alternativas considerando no solo el resultado esperado, sino también la variabilidad de los mismos. Se dice que la alternativa con función de probabilidad acumulada A domina a B en dominancia estocástica de primer orden si: $A(x) \leq B(x)$ para todo $x \in X$, donde X es el conjunto de resultados posibles. Por ende, todo individuo prefiere A a B, debido a que A le asigna una menor probabilidad de ocurrencia a los resultados de menor valor. Se considera que la alternativa con función de probabilidad A domina a B en dominancia estocástica de segundo orden, si para todo nivel de ingresos x, se verifica que:

$$\int_{-\infty}^{\infty} F_A(x)dx \leq \int_{-\infty}^{\infty} F_B(x)dx$$

La dominancia estocástica de 2^{do} orden está basada en el supuesto de que los tomadores de decisiones son adversos al riesgo.

Una vez seleccionadas las mejores alternativas en cuanto a nivel de fertilización y fecha de siembra en secano y bajo riego, se realiza la comparación de los márgenes brutos obtenidos bajo estas estrategias, para determinar las ganancias/pérdidas anuales que se generan con la incorporación del riego.

Finalmente, para completar la evaluación económica del riego se incorporan al análisis los costos de inversión generados por la instalación del sistema de riego, que consta principalmente de un equipo de pivote central, con motor a gasoil o con electrobomba, con capacidad de regar dos círculos de 70 ha cada uno².

Para evaluar el resultado económico de la instalación del equipo de riego se consideraron los dos sistemas, con gasoil y electricidad, y se utilizó, el criterio del valor actualizado neto (VAN) y como regla de decisión alternativa se utilizó la tasa interna de retorno (TIR) [Calcaterra, 1994]. El valor actualizado neto (VAN) se define como la suma de los valores actuales de los flujos de caja a los que da lugar un proyecto de inversión descontados a un

² Información suministrada por la empresa de equipos de riego Valley.

tipo de interés constante. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados a partir del primer período de operación y le resta la inversión total expresada en el momento cero. Para determinar la variabilidad del VAN se simulará una distribución de probabilidades con el método montecarlo, utilizando los MB como variables aleatorias con distribución normal con media y desvío estándard calculados en base a los resultados de los 39 años considerados.

Se consideró un período para el proyecto de inversión de 10 años y un valor residual del 30% del valor a nuevo del equipo.

La tasa de interés utilizada es una tasa real, que refleja el costo de oportunidad del capital en inversiones de similar riesgo. En este estudio se consideraron dos valores de tasas de interés para el cálculo del VAN, 12 y 5%. Un tasa del 12% es la utilizada en la evaluación de proyectos en riego por otras regiones [Bongiovanni, 2011], por lo que permite comparar los resultados obtenidos. Los resultados calculados con una tasa del 5% permiten un análisis del proyecto de inversión en un escenario de bajo costo de oportunidad del capital. Se calcula además la tasa interna de retorno (TIR), que es la tasa real que proporciona un proyecto de inversión y es aquella que al ser utilizada como tasa de descuento en el cálculo del VAN dará como resultado cero.

3. Resultados

En las Figura 2 panel A, B y C se presentan los valores de rendimientos promedio versus coeficiente de variación para maíz, trigo y soja 2^{da}, respectivamente, bajos los diferentes planteos técnicos de los cultivos. En las figuras pueden analizarse los efectos de los tres factores analizados, fecha de siembra, nivel de fertilización y riego sobre los rendimientos de los cultivos. Estas figuras permiten detectar las alternativas con un rendimiento promedio mayor y con menor variabilidad que son las que se ubican en el extremo superior izquierdo de los gráficos.

Los diferentes colores de los marcadores en los Paneles A y B de la Figura 4 indican las diferentes dosis de fertilización nitrogenada en maíz y trigo. Se puede apreciar una respuesta decreciente a la fertilización nitrogenada, consistente con el producto marginal del nitrógeno decreciente. Es importante aclarar que la dosis óptima de fertilizante no es la que maximiza el rendimiento, sino que depende de la relación de precios entre los productos y el nitrógeno y es definida en los párrafos que siguen como la dosis que maximiza el margen bruto de los cultivos.

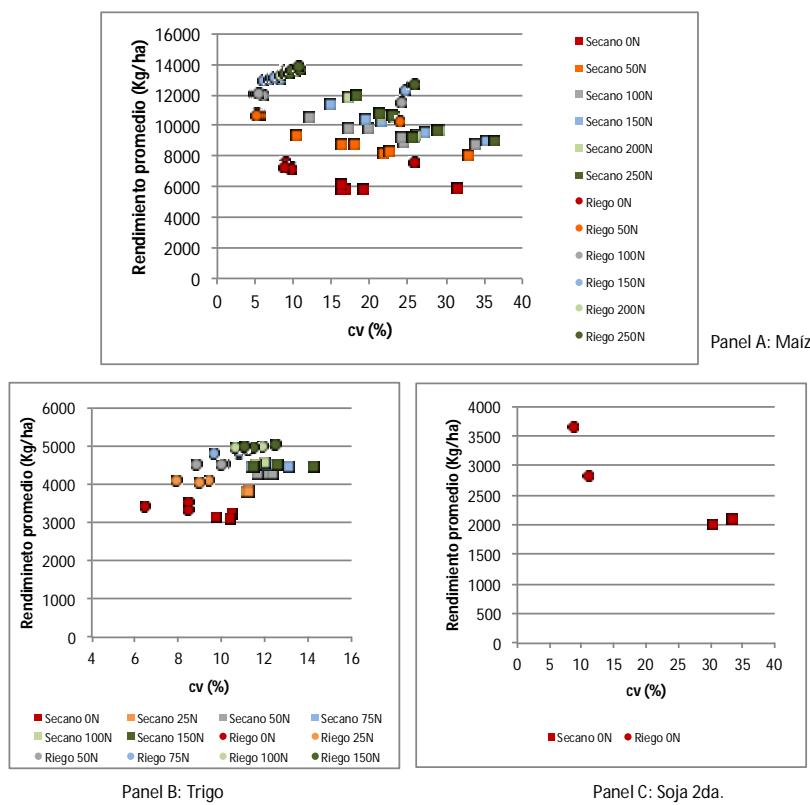
Los puntos del mismo color y forma corresponden a las distintas fechas de siembra evaluadas. Las fechas de siembras más tempranas para maíz y trigo corresponden a los puntos hacia la derecha, es decir las siembras tempranas están relacionadas con mayor nivel de riesgo. Para los niveles más altos de fertilización, siembras más tardías de maíz generan además, mayores rendimientos. En trigo, siembras tempranas con niveles moderados de fertilización generan rendimientos altos, y sin diferencias importantes con los rendimientos generados con dosis elevadas de fertilización. En soja el efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento es lo opuesto a los demás cultivos mencionados. En este cultivo, las fechas de siembras más tempranas, están relacionadas con el menor nivel de riesgo.

En estos gráficos se ve claramente que los puntos que corresponden a los cultivos regados (círculos) se encuentran ubicados hacia la izquierda (menor variabilidad en el rendimiento) y hacia arriba (mayor rendimiento esperado) en comparación a los puntos que

corresponden a los cultivos en secano (cuadrados), mostrando el efecto de aumento en el nivel promedio de rendimiento y disminución del riesgo de producción cuando se implementa el riego complementario. Las distancias en los ejes vertical y horizontal, entre los marcadores circulares y cuadrados, representan las diferencias de rendimiento y en la variabilidad que los productores de Pergamino pueden esperar al implementar riego complementario. En los párrafos siguientes se analiza si esta mejora en productividad se traduce en un mejor resultado económico para los productores.

Según los resultados de las simulaciones, los milímetros regados en promedio de todas las fechas de siembras y todas las dosis de fertilizante corridas, son: 268, 161 y 174 mm ha^{-1} para los cultivos de maíz, trigo y soja 2^{da}, respectivamente. Con un coeficiente de variación promedio del 26% para maíz, 42% para trigo y del 35% para soja 2^{da}.

Figura 2. Rendimientos promedio y coeficiente de variación para maíz, trigo y soja 2^{da} en el Partido de Pergamino

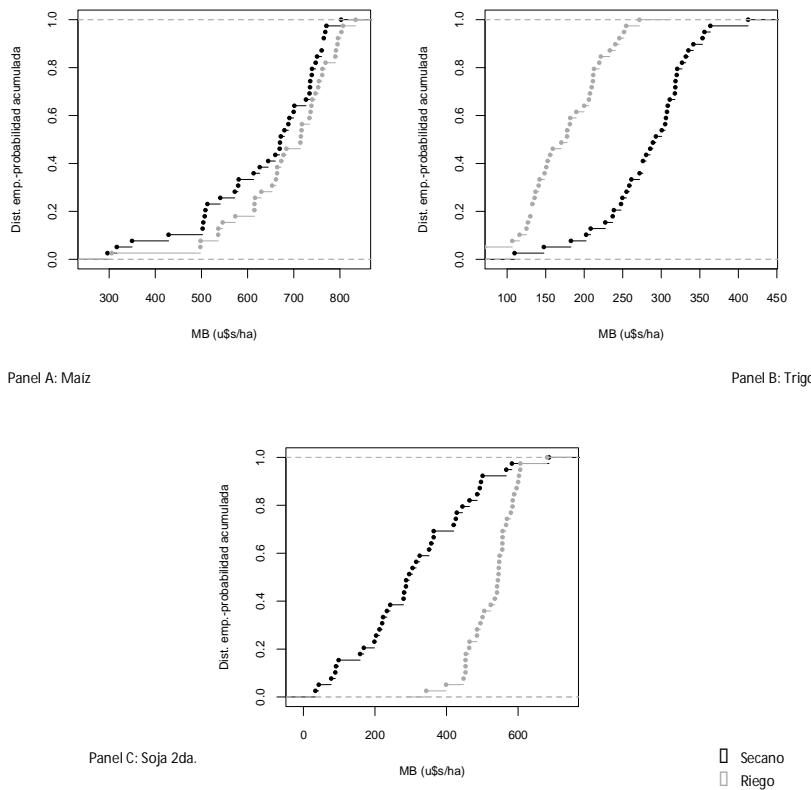


Nota: Los marcadores cuadrados corresponden al cultivo en secano, los círculos al cultivo bajo riego. Los colores indican los niveles de fertilización, según la leyenda, en Kg de nitrógeno. Los marcadores del mismo color y forma corresponden a distintas fechas de siembra.

A partir de los rendimientos y la cantidad de milímetros regados simulados por el modelo, y los planteos técnicos definidos para cada cultivo, se calcularon las distribuciones de probabilidades para los costos directos y el margen bruto (MB) para cada cultivo en cada fecha de siembra y con las diferentes dosis de N. Utilizando el criterio de dominancia estocástica de primer y segundo grado se compararon y seleccionaron, visualmente, las combinaciones de fechas y fertilización dominantes para cada cultivo en riego y en secano

(Tabla 3). Estos manejos dominantes son los utilizados en la valoración económica del riego complementario.

Gráfico 3. Distribuciones de probabilidades acumuladas de márgenes brutos (MB) de los planteos técnicos elegidos para cada cultivo en secano y bajo riego



En el gráfico 3 se presentan las distribuciones empíricas de probabilidad acumulada para los MB de los manejos dominantes en secanos versus riego. La figura muestra la diferencia entre medianas del MB para un mismo cultivo en secano y bajo riego, siendo las medianas en maíz y soja 2^{da} mayor para los planteos con riego, en cambio para trigo la mediana es mayor en secano. En los tres cultivos puede verse una menor variabilidad de los resultados para las opciones bajo riego. La figura muestra que la mejor alternativa de manejo es con riego para maíz y soja 2^{da} ya que domina estocásticamente al manejo en secano, mientras que para trigo la mejor estrategia es el secano.

Cuadro 3. Fechas de siembras y niveles de fertilización en Kg/ha de nitrógeno seleccionadas para cada cultivo en la zona de Pergamino

Cultivo	Fecha de siembra	Nivel de fertilización (Kg/ha)	Rendimientos promedios (Kg/ha)	MB promedio (u\$s/ha)	CV MB (%)	Riego promedio (mm)
Maíz secano	20-oct	100	10556	635	21	0
Maíz con riego (gasoil)	20-oct	150	13101	581	21	246.49
Maíz con riego (elect)	20-oct	150	13101	683	16	246.49
Trigo secano	20-jun	50	4280	283	21	0
Trigo con riego (gasoil)	20-jun	75	4783	116	52	142.31
Trigo con riego (elect)	20-jun	75	4783	174	28	142.31
Soja 2 ^{da} secano	1-dic	0	2089	310	51	0
Soja con riego (gasoil)	1-dic	0	4206	460	15	231.72
Soja 2 ^{da} con riego (elect)	1-dic	0	4206	530	12	231.72

Como puede verse en la tabla 3, si bien los rendimientos aumentan al implementar el riego en los cultivos, cuando consideramos costos e ingresos, obtenemos que el riego no genera una ganancia económica en todas las clases. En maíz se ve una disminución del MB del cultivo regado comparado con el cultivo en secano, al implementar el riego utilizando gasoil, debido al costo del mm con gasoil. Esto se revierte al emplear equipos de riego con electricidad, obteniendo MB mayores. En trigo los resultados económicos obtenidos para la implementación del riego no resultaron ser favorables con gasoil ni con electricidad, se puede observar la disminución del MB del trigo al implementar la práctica de riego en general, comparado con el MB que se logra en secano. En soja 2da se ve un aumento del MB del cultivo regado comparado con el cultivo en secano ya sea regando con el sistema a gasoil o con electricidad.

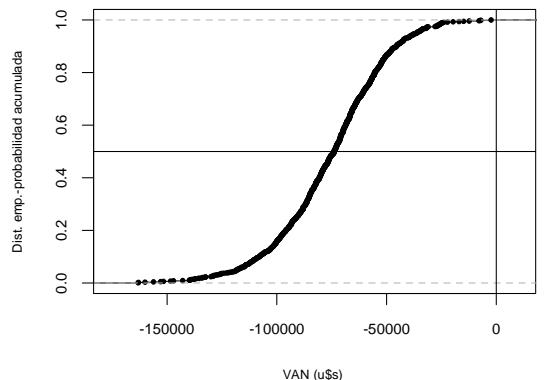
También se observa que el coeficiente de variación del MB disminuye para los tres cultivos si se implementa la práctica de riego con electricidad. Así mismo, solo en soja 2da se observa una disminución de la variación del MB si se riega con equipos a gasoil.

En base a los diferenciales de MB y teniendo en cuenta una inversión del equipo de riego de 201253 u\$s³, el VAN promedio calculado es negativo, con un valor promedio de u\$s – 76.000 y – 20.000 para las tasas de descuento del 12 y 5%, respectivamente. Los datos que se presentan corresponden a equipos de riego con electricidad, siendo la pérdida aun mayor para los equipos a gasoil.

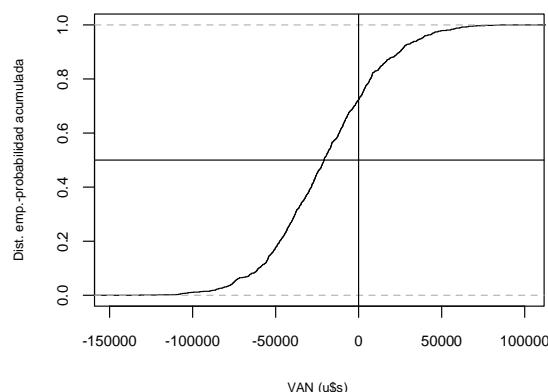
En la gráfico 4 se puede ver la distribución de probabilidades acumuladas del VAN. El Panel A indica que con un costo del capital del 12%, la probabilidad de que la inversión en riego sea rentable es aproximadamente nula. El panel B muestra que existe una probabilidad de aproximadamente un 30% de obtener valores resultados económicos positivos de la inversión en riego complementaria, considerando un costo de oportunidad del capital de 5%.

³ Nota: Según presupuesto suministrado por la empresa de equipos de riego Valley -Año 2012-

Figura 4. Distribución de probabilidades acumuladas del VAN de la inversión para riego complementarios en 140 ha de agricultura, con una rotación maíz, trigo/soja 2da en el Partido de Pergamino



Panel A: tasa de descuento 12%



Panel B: tasa de descuento 5%

Nota: Tasa de interés: 12% y 5%; Período: 10 años; Precios promedio: 2008-2012

La tasa interna de retorno que proporciona este proyecto de inversión es 3,3%, la cual es menor a los valores que se utilizan generalmente para evaluar proyectos privados de inversión.

4. Discusión

Los resultados indican un beneficio económico positivo de corto plazo para productores que tienen equipos de riego instalados y riegan sus cultivos de verano. En cambio, los resultados muestran que la inversión en riego complementario no representaría una alternativa altamente atractiva para la producción de *commodities* en el partido de Pergamino.

Si bien no se cuenta con otros trabajos actuales en la zona que permitan una comparación de los resultados obtenidos, es interesante la comparación con evaluaciones de inversión realizadas en el pasado, para analizar la evolución de los beneficios económicos asociados a la incorporación de la tecnología de riego. Si se compara la tasa interna de retorno del

3,3%, obtenida en este trabajo, con las evaluaciones realizadas por Calcaterra [Calcaterra, 1994/Calcaterra, 1995a/Calcaterra, 1995b] donde los resultados económicos daban positivos, con tasas internas de retorno que superaban el 17%, se aprecia una marcada diferencia de resultados. Es posible que esta diferencia pueda explicarse porque en la actualidad el mejoramiento genético logró un mejor comportamiento de los materiales en secano, y por otra parte por la elevada adopción de la siembra directa, que determina un mejor uso del agua disponible para los cultivos, al tener los suelos cubiertos y libres de malezas durante los barbechos.

Se dispone de datos actuales de valoración económica del riego complementario en el departamento Rio Segundo, Córdoba [Bongiovanni, 2011]. Los resultados económicos obtenidos en este caso fueron positivos con una tasa interna de retorno del 28% para una rotación maíz, soja, trigo/soja 2^{da} regada con sistema eléctrico. Esta diferencia de resultado con el presente trabajo puede deberse a una menor capacidad de retención de agua en los suelos de la región de Rio Segundo o a una diferencia en la distribución de las lluvias, determinando que los cultivos en secano sufran en mayor grado el estrés hídrico.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que si bien en maíz y soja 2da el riego puede generar un incremento en los márgenes brutos promedio y una disminución del riesgo, la tasa interna de retorno de la inversión es menor al costo de oportunidad del capital utilizado generalmente para evaluar inversiones privadas.

Estos resultados contribuyen a explicar la escasa expansión del riego complementario en la producción de *commodities* en la región agrícola núcleo de Argentina. Por otro lado, en los últimos años ha crecido en la zona la implementación de equipos de riego para la producción de semillas, principalmente híbridos de maíz. Seguramente en esta actividad el valor del producto marginal del agua es más elevado porque es mayor el impacto en la productividad y el precio de mercado del producto cosechado.

La correcta estimación de los costos y beneficios del riego complementario es importante para los productores que planean invertir en sistemas de riego. La información que se brinda en este trabajo es un aporte a la toma de decisiones, generando un marco para calcular costos y beneficios en término de valores esperados y nivel de riesgo. Es importante considerar que los resultados no se pueden extraer a regiones con diferentes regímenes de precipitaciones y/o capacidad de almacenaje de agua en el suelo. Adicionalmente, cambios futuros en las relaciones de precios de los productos y la energía, pueden generar cambios importantes en los resultados obtenidos.

La metodología propuesta tiene limitaciones que surgen al acotar las posibilidades de manejo a unas pocas alternativas: se considera una sola densidad y un solo genotípico por cultivo. Así mismo se asume una mayor dosis de fertilización con fósforo y el agregado de fungicida para riego respecto del planteo de secano. Además, el riego automático permite que no haya limitantes hídricas en ningún momento del cultivo, lo que puede resultar en una sobreestimación de los milímetros aplicados. Dichas limitaciones podrían implicar una subestimación de los MB de los cultivos regados.

Los resultados obtenidos son preliminares y sería interesante completar la investigación con mediciones a campo de diferenciales de rendimiento en cultivos bajo riego vs. secano.

Finalmente, los sistemas bajo riego pueden generar costos ambientales que los productores regantes no perciben o perciben sólo en el mediano o largo plazo como la contaminación de agua subterránea con agroquímicos y nutrientes y la sobreexplotación de los acuíferos. Así mismo, en otras regiones, se han documentado efectos ambientales asociados a la pérdida de la capacidad productiva del suelo por la utilización de agua de baja calidad; pero la información disponible es limitada para sacar conclusiones sobre los efectos ambientales del riego complementario en la zona de Pergamino. Estos costos no fueron incorporados en este estudio, pero es importante considerarlos para una completa evaluación económica de la incorporación del riego en los sistemas agrícolas, este análisis económico – ambiental se propone como una continuación del presente estudio.

Referencias bibliográficas

- Angus, J.F. (1990). "Evolution of Methods for Quantifying Risk in Water Limited Environments": *Climatic Risk in Crop Production: Model and Management for Semiarid Tropics and Subtropics*, pp. 39-53. CAB International, UK.
- Bongiovanni, R.; et al. (2011). "Análisis Económico del Riego en Córdoba": *Estudios Sociales del Riego en la Agricultura Argentina*, pág. 303. Ediciones INTA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Cabrini, S.; Calcaterra, C. (2008). "Los Sistemas de Producción en la Cuenca del Arroyo Pergamino". Resultados de una Encuesta a Productores. On line Sitio web INTA Pergamino: http://www.inta.gov.ar/Pergamino/info/documentos/2008/Sistemas_produccion_Cuenca_arroyo_pergamino.pdf .
- Calcaterra, C.; et al. (2011). "Evolución y Perspectivas del Riego Complementario en la Zona Húmeda Pampeana: el Caso del Partido de Pergamino.": *Estudios Sociales del Riego en la Agricultura Argentina*, pág. 348. Ediciones INTA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Calcaterra, C. (1995a). "Conveniencia Económica del Riego Complementario en la Región Pampeana Húmeda". Publicación del Proyecto Intensificación de la Producción de Granos INTA.
- Calcaterra, C. (1995b). "Riego por Surcos. Proyecto Intensificación de la Producción de Granos". Publicación INTA.
- Calcaterra, C.; et al.(1994). "Manual de Evaluación de Proyectos de Inversión" Programa de Intercambio Rural. INTA PERGAMINO.
- Ghida Daza, C. (2009). "Indicadores Económicos para la Gestión de Empresas Agropecuarias". INTA EEA Marcos Juárez.
- Guevara, E.; Meira, S. (2000). "La Simulación del Desarrollo, Crecimiento y Rendimiento en maíz". Disponible en: www.fertilización.com/articulo/SimulaciónDesarrolloCrecimientoRendimientoEnMaiz.pdf.
- Jones, J.W.; et al.(2003). "The DSSAT Cropping System Model". *European Journal of Agronomy* 18. Pp. 235/265.

Keating, B.A.; et al. (1991). "Optimising Nitrogen Inputs in Response to Climatic Risk", en *Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semiarid Tropics and Subtropics*, pp. 329-358. CAB International, UK.

Montico, S. (2004). "El Manejo del Agua en el Sector Rural de la Región Pampeana Argentina", en *Revista Agromensajes 3-12*, de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Rosario.

RIAN/RIAP CRBAN. "Boletín Informativo 31".

Anexo: Precios utilizados en el análisis de la implementación de riesgo

Anexo: Precios utilizados en el análisis económico de la implementación de riego.

ítem	unidad	precio (u\$s)
Maíz	Tn	148.03
Soja	Tn	288.35
Trigo	Tn	161.75
Gastos de comercialización de trigo	%	18%
Gastos de comercialización maíz	%	22%
Gastos de comercialización soja	%	14%
Cosecha maíz	%	8%
Cosecha soja	%	8%
Cosecha trigo	%	11%
Curasemillas Force CS	It	208.25
Curasemillas Ritiram Carb Plus	5 It	8.54
Super fosfato triple	Tn	797
Urea	Tn	547
Fungicida (Sphere)	It	50.88
Herbicida (Atrazina 50)	It	3.492
Herbicida (Glifosato)	It	3.36
Herbicida (Acetoclor)	It	5.74
Herbicida (Metsulfurón)	Kg.	34
Inoculante (Nitragin CellTech)	para 50Kg semilla	14.06
Insecticida (Cipermetrina)	It	5.56
Insecticida (Endosulfán)	It	5.4
Aplicación aérea de agroquímicos	pasada	10.92
Aplicación de fertilizantes	pasada	10.92
Aplicación terrestre de agroquímicos	pasada	10.92
Siembra directa con fertilización	pasada	34.32
Semilla de maíz (híbrido simple 1ra marca)	bolsa	140.6
Semilla de soja	Kg	0.59
Semilla de trigo	Kg	0.368
riego con gasoil	mm	0.96 *
riego con electricidad	mm	0.55 *

Fuente: Precios promedio 2008-2012, Revista Agromercado

* Los precios del mm regado son promedio 2011-2012, según datos aportados por empresarios regantes.
La cotización del dólar promedio 2008-2012 es de 3.77 \$ar/u\$