

Análisis Costo-Beneficio del riego intermitente en el cultivo de arroz en Uruguay

Carolina Balian¹
María Eugenia Silva²
Magdalena Borges³

El objetivo de este estudio es determinar la viabilidad económica y social de la técnica de riego intermitente en arroz en Uruguay, aplicando la metodología de Análisis Costo-Beneficio. Adicionalmente, este estudio apunta a generar insumos para recomendaciones de políticas públicas en esta área⁴. La metodología de análisis costo-beneficio (ACB) es una de las herramientas para mejorar el diseño de políticas públicas del MGAP promovidas por el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Agropecuario (PNA-Agro)⁵. El ACB permite realizar una evaluación ex-ante alternativas de adaptación y es un insumo para su priorización. La adopción de medidas de adaptación depende, entre otras cosas, de qué tan convenientes sean desde el punto de vista económico y social.

1. Antecedentes y descripción de la técnica

La adaptación al cambio y la variabilidad climática es una de las líneas estratégicas transversales del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) desde el 2010. El PNA-Agro busca identificar y sistematizar los esfuerzos y estrategias de adaptación ya implementadas y priorizar las medidas de adaptación necesarias para lograr el cambio a un sendero de desarrollo resiliente y adaptado al cambio y la variabilidad climática en el sector agropecuario hacia el 2050.

El riego intermitente en arroz es una de las medidas de adaptación y mitigación propuestas en la primera Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC, por su sigla en inglés) de Uruguay al Acuerdo de París.

¹Economista, técnico de OPYPA, Unidad de Sostenibilidad y Cambio Climático. Especialista Técnica del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el proyecto de elaboración del Plan Nacional de Adaptación al cambio y la variabilidad climática para el sector agropecuario, carolina.balian@undp.org

²Economista, técnico de OPYPA, Unidad de Sostenibilidad y Cambio Climático. Convenio INIA-OPYPA, mesilva@mgap.gub.uy

³Economista, técnico de OPYPA, Unidad de Sostenibilidad y Cambio Climático. Convenio INIA-OPYPA, maborges@mgap.gub.uy

⁴La versión completa de este reporte puede verse en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/estudios/economia-agraria-y-ambiental>

⁵Proyecto "Integración de la Agricultura en los Planes nacionales de Adaptación", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) financiado por el Ministerio Federal de Ambiente Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear del Gobierno Alemán.

En Uruguay, el arroz es un cultivo de regadío y la técnica de riego predominante implica la siembra en seco con inundación continua desde los 15 a 45 días posteriores a la emergencia hasta completar la madurez fisiológica del cultivo (ACA y GMA, 2013). Además de aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, esta técnica contribuye al control de malezas y la regulación de temperatura, pero conlleva un alto consumo de agua para riego (B. Böcking, com. pers., 2017).

A diferencia de la práctica tradicional, el riego intermitente consiste en la alternancia de períodos de inundación del cultivo con períodos de reducción del nivel de agua. Los ensayos de riego intermitente realizados en Uruguay consideran dos manejos diferentes de riego con reducción controlada de agua. El primero es el manejo con lámina variable, en el que el riego se suspende una vez que el suelo se satura, de manera que se alternan períodos de suelo inundado y suelo saturado. En el segundo caso, se alternan períodos de suelo húmedo con suelo seco, este método corresponde al tratamiento “Riego Restrictivo” del trabajo de Riccetto, S. et al. (2016) y Cantou, G. y Roel, A. (2010). Este manejo supone un uso de agua sensiblemente menor que el anterior (Cantou, G. y Roel, A., 2010; Riccetto, S. et al., 2016).

Un factor clave en el éxito de la técnica de riego intermitente es la velocidad con que se restablece la lámina de agua una vez interrumpido el riego (Carracelas, G. et al., 2016). Para lograr esto se usan mangas o politubos para el riego que facilitan la cobertura uniforme de toda la chacra y aseguran el nivel de humedad en el suelo fundamental para el crecimiento del cultivo.

Si bien Uruguay es un país rico en recursos hídricos, tanto en calidad como en cantidad, actualmente el agua se presenta como un factor limitante para la expansión del cultivo de arroz, sobre todo en el norte del país. Este escenario ha motivado a que el uso eficiente del agua y la optimización de su productividad se conviertan en un tema prioritario y estratégico para el sector arrocero (Cantou, G. y Roel, A., 2010).

La técnica de riego intermitente de lámina variable ha comenzado a utilizarse en el país con fines comerciales hace algunos años, principalmente en el norte del país, como forma de atender la relativa escasez de agua de esa región. Sin embargo, en este estudio se consideró la técnica de alternar períodos de suelo húmedo con suelo seco, ya que además de implicar un mayor ahorro de agua utilizada para riego, también deriva en menores emisiones de gases de efecto invernadero.

2. Metodología y supuestos principales

El análisis costo-beneficio (ACB) es una herramienta que evalúa la conveniencia de realizar un proyecto o política a partir de la cuantificación de los costos y beneficios asociados a su implementación a lo largo de un período de tiempo y la comparación de éstos frente a un escenario alternativo de acuerdo al concepto de eficiencia económica. En este trabajo, el análisis se realiza desde dos perspectivas: la evaluación privada y la evaluación social o económica.

La evaluación privada analiza la viabilidad financiera de un proyecto o política desde el punto de vista de un agente privado. En este estudio, se realizó la evaluación privada desde el punto de vista de la “inversión en sí misma” con el objetivo medir el retorno que tiene la inversión para la totalidad de los recursos que se comprometen, sin discriminar si son capital propio, del inversor o de sus acreedores (Porteiro, 2007). Este estudio compara la situación sin proyecto (con riego por inundación continua) respecto a la situación con proyecto (con riego intermitente). La evaluación social o económica consiste en el análisis del bienestar social resultante de la comparación de los costos y beneficios asociados a ambas situaciones para la sociedad, incluyendo los efectos sociales y ambientales.

En ambos casos se elaboraron los flujos de fondos en términos incrementales para obtener el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) incremental. El VPN estima el valor monetario de los beneficios y costos totales descontados mediante una tasa de descuento determinada, que permite expresar los valores futuros en valores presentes. La regla de decisión establece que un proyecto es rentable cuando el VPN incremental es mayor que cero. La TIR es un indicador utilizado como complemento del VPN. En el caso de la TIR incremental, para que el proyecto se considere rentable, esta debe ser mayor a la tasa de descuento utilizada en el flujo de fondos. Con respecto a la tasa de descuento, en la evaluación privada se refiere a una tasa de mercado indicativa del costo de oportunidad de los recursos invertidos, en términos reales. Por su parte, desde la perspectiva económica se requiere una tasa social de descuento real (TSD real), que mide el sacrificio que debe realizar la sociedad anualmente por cada unidad monetaria requerida para financiar un nuevo proyecto (SNIP, 2014). La tasa de descuento considerada para la evaluación privada es de 6,33%⁶ y la tasa social de descuento considerada es de 4,7%⁷.

En la evaluación social, para la valoración de los costos incrementales se utiliza la razón de precios de cuenta (RPC) de los factores básicos de la producción, de manera que se refleje el verdadero costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de estos factores en la implementación del proyecto. La RPC se refiere al cociente entre el precio de cuenta (o precio social) y el precio de mercado de un bien o un servicio. En la evaluación social no se consideraron los impuestos sobre la venta del cultivo, la compra de insumos y la renta (SNIP, 2014).

El horizonte temporal considerado es de 32 años, hasta el 2050, de forma consistente con los períodos de planificación y prospectiva considerados para el PNA-Agro y la Política Nacional de Cambio Climático (PNCC).

⁶De acuerdo al máximo rendimiento real anual de todos los instrumentos financieros en dólares con vencimiento aproximado a 30 años, transados al momento del análisis.

⁷Con base en estimaciones de OPYPA para la evaluación ex-ante de la ampliación del proyecto Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático (DACC) (Aguirre, E. et al., 2017).

La información utilizada para la evaluación del riego intermitente surgió de una revisión bibliográfica nacional e internacional y de entrevistas y consultas a informantes calificados. Además, se llevaron a cabo sucesivas etapas de validación de la información con los referentes.

Se consideró el caso más representativo del sector arrocero en Uruguay, asumiendo que el productor arrocero es arrendatario de tierra y contrata el servicio de agua para riego. Históricamente, más del 70% del cultivo de arroz en el país se ha desarrollado sobre campos arrendados, y más de la mitad de la superficie ha sido regada con agua comprada. Además, se asumió que el agua regada se transporta mediante bombeo, ya que para la zafra 2016/2017, en el 63% de la superficie cultivada se utilizó este medio, mientras que el remanente se regó por gravedad. A su vez, del total de área regada mediante bombeo, el 92% se regó utilizando la electricidad como fuente de energía y el resto utilizando diésel. El tamaño de chacra considerado es de 386 hectáreas, de acuerdo al promedio nacional para la zafra 2016/2017 (DIEA, 2017).

Las proyecciones a largo plazo de las variables macroeconómicas más relevantes para el sector arrocero (inflación mayorista y minorista, tipo de cambio, salarios) fueron proporcionadas por una consultora privada. Las proyecciones de precios de fertilizantes, de rendimientos y del precio del arroz fueron realizadas por el equipo de trabajo.

Dado que los parámetros y variables determinantes de los resultados están sujetos a factores de incertidumbre, se evaluó un escenario alternativo, en el que se asume que el costo del agua para riego se determina en función del volumen de agua utilizada, en contraste con los contratos por hectárea regada predominantes en el sector arrocero en Uruguay. Además, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad parcial y un análisis de Monte Carlo. Por medio de los análisis de sensibilidad, se evalúa qué variables son más relevantes en la determinación de los resultados, se analiza la robustez de los resultados obtenidos y se incorporan componentes aleatorios, de manera de reflejar mejor el riesgo climático.

2.1. Supuestos de la evaluación privada

Inversiones

La inversión inicial que requiere la técnica de riego intermitente consiste en la instalación de mangas, compuertas y caños de PVC en la chacra. Se realizan reinversiones al final de la vida útil de cada uno de los componentes de la inversión inicial (de 3, 5 y 10 años, respectivamente). Se asumió que no se realizan cambios en la sistematización de las chacras, ya que requieren de maquinaria que actualmente no está disponible en el país. Se consideró la amortización lineal de la inversión inicial y se contabilizó el valor residual de los componentes de la inversión al final del período de análisis.

Consumo de agua y electricidad por bombeo

El riego intermitente con mangas implica un ahorro considerable del volumen de agua utilizada para riego. En efecto, mientras que esta técnica requiere alrededor de 6.600 m³/ha, el riego tradicional insume cerca de 8.500 m³/ha (Ricetto et al., 2016). Además, implica una mayor certidumbre sobre la cantidad de agua utilizada con respecto a la inundación continua, debido al control más estricto del ingreso de agua.

En línea con el escenario predominante, se consideró que el arrendatario paga por el servicio de agua un monto fijo por hectárea a regar, el cual es pactado al inicio de la zafra y no varía en función del volumen de agua efectivamente utilizada para riego. Por lo tanto, la eficiencia en el uso del recurso derivada del riego intermitente no afecta el costo asociado al servicio de agua, cuando rigen contratos de precio fijo.

Por otra parte, para los productores que riegan mediante bombeo, el menor consumo de agua para riego llevaría a un ahorro en el consumo de energía para bombeo.

Insumos de siembra y cultivo

Para la técnica de riego intermitente no se requiere cambiar la cantidad utilizada en la fertilización con urea respecto a inundación continua, mientras que el suelo se mantenga húmedo en determinados períodos (A. Roel, com. pers., 2018). Por lo tanto, se considera que el costo incremental de fertilización es nulo. En cuanto al control de malezas, si bien el riego intermitente puede dar lugar a la emergencia de nuevas camadas de malezas o semillas de malezas, éstas pueden ser controladas sin necesidad de aplicación adicional de herbicidas (A. Roel, com. pers., 2018).

Mano de obra

Se asume que el requerimiento de mano de obra para riego es equivalente entre las dos técnicas de riego, tanto en cantidad de trabajadores como en su nivel de calificación. Se consideraron los costos salariales de la Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA), que incluyen el salario nominal con alimentación, aguinaldo, licencia, salario vacacional y aportes patronales.

Impuestos

En la evaluación privada se considera el pago del Impuesto a la Renta de Actividades Económicas (IRAE), cuya alícuota es de 25%. A los efectos de establecer la base imponible y conocer los beneficios fiscales derivados de la inversión en riego, se consideró la normativa vigente y se asumió que el inversor se ampara en el régimen general.

Rendimientos

De acuerdo a resultados experimentales del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), cuando se aplican tratamientos de riego que alternan períodos de suelo seco y húmedo, se observan reducciones significativas del rendimiento (Ricchetto, S. et al., 2016). Concretamente, en este caso se asumió una reducción del rendimiento del orden de 9% respecto al riego tradicional, brecha que se mantiene a lo largo de todo el horizonte de proyección. Para la proyección de largo plazo de los rendimientos de arroz en el escenario base, se asumió que los rendimientos mantienen la trayectoria de crecimiento lineal, que se observa en los datos históricos publicados por la ACA. Esto es consistente con las proyecciones publicadas en un estudio preliminar de la Red de Soluciones de Desarrollo Sostenible (SDSN, 2017), que maneja un umbral de rendimientos explotable de 11,2 t/ha acorde a factores biofísicos y climáticos y contemplando la tecnología actual.

2.2. Supuestos de la evaluación social

Externalidades ambientales

A diferencia de la evaluación privada, en la evaluación social se incluyen las externalidades ambientales que genera el proyecto. En los casos en los que es posible esas externalidades son valorizadas, mientras que cuando no se dispone de información suficiente para aplicar alguna de las técnicas de valoración, son sólo identificadas.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Para la cuantificación del incremental de emisiones de GEI, se tomó como base las estimaciones realizadas por el INIA para las emisiones de metano y óxido nitroso en cultivos de arroz a partir de dos sistemas de riego, para tres zafra consecutivas. El promedio de las emisiones incrementales de riego intermitente respecto a riego tradicional para las tres zafra es de -3,267 t/ha CO₂ eq. Para la valoración de las emisiones generadas se adopta el criterio utilizado por Rosas (2018) basado en el concepto de Costo Social del Carbono (CSC) de Nordhaus (2014).

La técnica de riego intermitente con alternancia de períodos secos permitiría disminuir las floraciones generadas por la inundación del cultivo que contribuyen a las emisiones del gas metano (Capurro, M. C. et al., 2015), por lo que tendría asociado un co-beneficio de mitigación del cambio climático.

Disminución de exportaciones de nutrientes hacia cursos de agua

El menor uso de agua derivado del riego intermitente llevaría a un escurrimiento significativamente menor hacia cursos de agua. Dado que se asume que las dosis de fertilización son equivalentes entre ambas técnicas, esto implicaría una reducción en la exportación de nutrientes respecto al riego tradicional.

Los nutrientes principales que se agregan al suelo como fertilizantes para el cultivo de arroz son el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K) y el cinc (Zn). De estos, N y P son los que presentan mayor riesgo potencial de estar presentes en concentraciones altas en aguas de drenaje (ACA y GMA, 2013).

Mayor disponibilidad de agua para otros usos

En la medida en que el riego intermitente supone un ahorro de agua respecto del riego tradicional, se identifican beneficios adicionales asociados a la posibilidad de utilizar el recurso en otros usos alternativos a la producción de arroz, incluidos los requerimientos ambientales. Si bien existen diferencias regionales en cuanto a la disponibilidad de agua actual, se podría afirmar que el menor uso del recurso, deriva en un uso más sostenible del mismo en el mediano y largo plazo.

Generación de residuos de mangas

Las mangas utilizadas para el riego intermitente, que se componen de polietileno expansivo, pueden ser recicladas en Uruguay para producir mangas nuevas (que insumen una proporción de mangas usadas y de material nuevo), estacas de cercas eléctricas y baldes, entre otros insumos (B. Böcking, com. pers., 2017). Por este motivo, no se identificó una externalidad ambiental negativa significativa derivada de la generación de residuos de mangas a partir de la implementación del riego intermitente.

3. Resultados

3.1. Resultados de la evaluación privada

A continuación, se presentan los principales resultados de la evaluación privada. El VPN se calcula sobre el resultado después de impuestos.

Cuadro 1. Principales resultados de la evaluación privada, en dólares constantes de 2017

Principales resultados	
Tasa de descuento	6,325%
Beneficios totales descontados	(902.691)
Costos totales descontados	299.060
Inversión total	(80.100)
VPN	(683.730)
TIR	N/A

Desde el punto de vista privado, para el productor arrocero tipo y bajo los supuestos asumidos, no resulta conveniente realizar la inversión para incorporar la técnica de riego intermitente. El VPN del proyecto es negativo, como consecuencia fundamentalmente de la caída de los beneficios, en los que inciden los menores rendimientos del cultivo bajo riego intermitente. No se presenta el valor obtenido para la TIR ya que este fue negativo.

3.2. Resultados de la evaluación social

El Cuadro 2 contiene los principales resultados para la evaluación social.

Cuadro 2. Principales resultados de la evaluación social, en dólares constantes de 2017

Principales resultados	
Tasa de descuento	4,7%
Beneficios totales descontados	(1.101.558)
Costos totales descontados	1.046.926
Inversión total	(78.018)
VPN	(132.650)
TIR	N/A

Desde el punto de vista de la evaluación social, el cambio a riego intermitente no supone una mejora del bienestar de la sociedad en su conjunto. El ahorro de costos es significativamente mayor en la evaluación social, respecto a la privada, principalmente por la consideración de la externalidad positiva asociada a las emisiones de gases de efecto invernadero. Lo anterior implica que el VPN sea considerablemente mayor en este caso, aunque sigue siendo negativo. Al igual que en el caso de la evaluación privada, no se presenta el resultado de la TIR, aunque en este caso se debe a que los flujos de fondos anuales cambian de signo más de una vez durante el período de análisis.

3.3. Escenario alternativo

La modalidad predominante en Uruguay para los contratos de uso de agua en el cultivo de arroz se basa en pagos en bolsas de arroz por hectárea regada. Son contratos de precio fijo acordado al inicio de la zafra, por lo que el agricultor paga por una cantidad de agua estimada, independientemente de la cantidad efectiva que utilice durante el período de producción. Dado que bajo la forma de contratos que predomina, no es posible captar la reducción en los costos del proyecto asociados directamente al menor uso de agua, se entiende necesario analizar por separado el caso de contratos de servicio de agua flexibles que establecen un pago en función del volumen efectivamente utilizado con fines de riego.

Asumiendo una relación lineal entre el precio promedio pagado por hectárea regada y el volumen de agua demandada por cada técnica, en el escenario de contratos flexibles el costo del agua sería de 14 bolsas de arroz por hectárea, frente a 18 bolsas por hectárea manejadas en riego tradicional.

El escenario alternativo supone cambios en la modalidad de pago por el agua para los arrendatarios, por lo que el impacto se observa en los costos. El ahorro de costos en el escenario de contratos de riego flexibles es de US\$ 517 mil frente a US\$ 229 mil del escenario base. Es decir, en caso de que los arrendatarios del servicio de agua pagaran en función del agua que efectivamente utilizan, habría un impacto significativo en la reducción de costos operativos del proyecto. Esto se refleja en un VPN mayor que en el escenario base, pero que continúa siendo negativo en US\$ 466 mil.

En la evaluación social, también se verificó un mayor ahorro de costos en el caso del escenario alternativo, pasando de US\$ 1,05 millones en el escenario base a US\$ 1,31 millones. Este mayor ahorro de costos derivado del cambio en el tipo de contrato del servicio de agua derivaría en la obtención de un VPN positivo en el escenario alternativo, equivalente a US\$ 130 mil.

Cuadro 3. Principales resultados de la evaluación privada y social para el escenario alternativo, en dólares constantes de 2017

	Evaluación privada	Evaluación social
Tasa de descuento	6,325%	4,7%
Beneficios totales descontados	(902.691)	(1.101.558)
Costos totales descontados	516.725	1.309.418
Inversión total	(80.100)	(78.018)
VPN	(466.066)	129.843
TIR	N/A	N/A

3.4. Análisis de sensibilidad parcial

El objetivo del análisis de sensibilidad es evaluar el grado de respuesta del VPN ante cambios porcentuales en una variable, manteniendo el resto de las variables constantes. En este apartado se presenta el análisis de sensibilidad para las siguientes variables: precio de las mangas, rendimiento del arroz, costo del bombeo eléctrico, tasa de descuento y costo social del carbono. El análisis de sensibilidad se realizó para las dos evaluaciones, privada y social, en términos constantes.

El indicador de elasticidad presentado en el Cuadro 5 permite ver cuánto varía el VPN en términos porcentuales ante un cambio de 10% en la variable considerada, asumiendo que las demás variables permanecen incambiadas.

Cuadro 4. Análisis de sensibilidad parcial para la evaluación privada y social

Variable	Elasticidad	
	Evaluación Privada	Evaluación Social
Precio de mangas	11%	54%
Rendimientos del arroz	132%	830%
Costo del bombeo eléctrico	44%	223%
Tasa de descuento	70%	43%
Costo social del carbono	N/A	566%

El rendimiento del cultivo es la variable con la mayor incidencia en el VPN, tanto en la evaluación social como en la privada. En segundo y tercer lugar se ubican la tasa de descuento y el costo del bombeo eléctrico respectivamente, en el caso de la evaluación privada. Por su parte, en la evaluación social el VPN es muy sensible al costo social del carbono en segundo lugar y luego, al costo del bombeo eléctrico. Finalmente, la incidencia del precio de las mangas y de la tasa de descuento en el VPN social es similar y significativamente más baja que en el caso de las otras variables analizadas.

3.5. Análisis de Monte Carlo

El análisis Monte Carlo es una técnica de modelización de riesgos, que permite evaluar los efectos de la incertidumbre asociada a las variables de entrada clave de forma simultánea, considerando las correlaciones entre las mismas. El método consiste en asociar distribuciones de probabilidad a las variables de ingreso clave y luego realizar un número alto de simulaciones de los posibles valores que éstas puedan tomar. Los resultados se basan en un conjunto de distribuciones de probabilidad que muestran cómo la incertidumbre en dichas variables de entrada puede afectar los resultados (HM Treasury, 2003).

En este caso, el análisis Monte Carlo permite estimar rangos de valores entre los cuales se encuentran el valor presente neto y la probabilidad de ocurrencia de cada uno de esos rangos. Por ejemplo, se puede estimar con qué probabilidad el VPN será mayor que cero.

Para realizar dicha evaluación se deben seleccionar las variables que se desean testear. A diferencia del análisis de sensibilidad parcial, en el cual se evaluó la sensibilidad del VPN ante cambios en variables económicas, en este caso el análisis se enfocó en las variables climáticas. El estudio de estos factores es fundamental para proponer medidas de adaptación que permitan disminuir la vulnerabilidad del sector ante el cambio y la variabilidad climática.

Con el fin de identificar los factores climáticos más relevantes, se realizaron consultas a

productores y técnicos y se llevó a cabo una revisión de los estudios existentes sobre el impacto del clima en la producción de arroz. Como resultado de esta investigación, quedó en evidencia la importancia de tres variables climáticas clave: la radiación solar, la heliofanía y la temperatura. A partir de lo anterior, se llevó a cabo un análisis estadístico en base a datos de rendimientos del arroz y de distintas variables climáticas, con el fin de analizar de forma más precisa su relación.

Los datos de rendimientos utilizados en dicho análisis corresponden a los publicados por la Asociación de Cultivadores de Arroz. En el caso de las variables climáticas, los datos refieren a la estación meteorológica de INIA ubicada en el departamento de Treinta y Tres, ya que pertenece a la zona Este del país, donde se concentra más del 70% del área total arrocerera. El período que se utilizó para el análisis abarca desde octubre del año de inicio de la zafra arrocerera hasta abril del año siguiente, para lograr capturar todas las etapas de desarrollo del cultivo. El período de análisis fue de 1972/73 a 2017/18.

El vínculo entre las variables climáticas y rendimiento, así como entre las distintas variables climáticas, fue evaluado a través del cálculo de los coeficientes de correlación lineal. Las variables climáticas que mostraron una correlación más fuerte con rendimiento en el período analizado fueron las precipitaciones acumuladas, la heliofanía, la radiación solar y la temperatura máxima.

Luego de calcular los coeficientes de correlación, se estimaron regresiones múltiples con el propósito de analizar el efecto combinado de los distintos factores climáticos en los rendimientos del arroz. Para esto, se definió, por un lado, una ecuación de largo plazo que refleja la tendencia ascendente del rendimiento del cultivo y, por otro lado, una ecuación de corto plazo que explica los desvíos de los rendimientos respecto a esa tendencia.

A partir de este análisis, se puede afirmar que hay evidencia que las variables climáticas que tendrían una mayor incidencia en la determinación de los rendimientos del arroz son la temperatura máxima y la heliofanía. En tanto, no se encontró evidencia clara de que las precipitaciones tuvieran una influencia significativa en el rendimiento cuando se consideraron las variables climáticas en conjunto. Considerando lo anterior y teniendo en cuenta que no hay proyecciones de heliofanía disponibles para Uruguay, se seleccionó la variable temperatura máxima para testear en el análisis Monte Carlo.

Una vez definidos los rangos de temperatura máxima y los rendimientos correspondientes, se realizaron simulaciones de distintos escenarios de temperatura siguiendo la distribución encontrada previamente. Como para cada valor de la variable climática se definió un nivel de rendimiento correspondiente, la realización de un alto número de simulaciones (1.000) permitió llegar a una distribución esperada de rendimientos. Luego de realizar las simulaciones de los rendimientos a partir de la función de distribución encontrada, se obtuvo una función de distribución esperada del VPN. Ésta permite evaluar el riesgo asociado a dicho proyecto y qué tan robustos son los resultados obtenidos.

A partir de este análisis, se pudo concluir que, en el caso de la evaluación privada, la probabilidad de que se obtengan resultados positivos es relativamente baja, tanto con riego tradicional como intermitente. Por el contrario, en el caso de la evaluación social, se espera que el VPN sea positivo en la mayoría de los escenarios de temperatura máxima. No obstante, tanto en la evaluación privada como en la social, el VPN medio en el riego intermitente es menor al VPN medio en el riego tradicional, lo que es consistente con los resultados negativos que se presentan en los Cuadros 2 y 3.

4. Conclusiones

Los resultados muestran que, cuando se considera el escenario base de contratos por el servicio de agua de precio fijo, no resulta conveniente incorporar la técnica de riego intermitente, tanto desde la perspectiva privada como la social. En tanto, cuando se analiza el escenario alternativo de contratos que establecen un precio variable en función del volumen de agua regada, la implementación de la técnica resulta conveniente de acuerdo a la evaluación social, mientras que sigue siendo no rentable desde la perspectiva privada.

Los resultados negativos se explicaron fundamentalmente por la caída de los ingresos del productor, debida a la reducción de los rendimientos del cultivo en relación a los obtenidos bajo inundación continua. El análisis de sensibilidad parcial indicó que el valor presente neto es altamente sensible al rendimiento del cultivo en ambas evaluaciones. Si bien el riego intermitente supone un consumo de agua para riego considerablemente menor respecto al riego tradicional, que se refleja en el menor costo asociado al bombeo de agua en el caso de contratos de precio fijo, este ahorro de costos no alcanza a compensar la caída de los ingresos derivada de menores rendimientos. Este es un factor determinante en los incentivos para la adopción de la técnica.

Lo anterior pone luz sobre la necesidad de profundizar las investigaciones sobre distintas técnicas de riego que permitan hacer un uso más eficiente del agua sin afectar significativamente la productividad del cultivo. A su vez, podría ser relevante evaluar los costos adicionales que implicaría realizar un cambio en la sistematización de la chacra con nivelación controlada, como forma de evitar una caída significativa de los rendimientos. Asimismo, podrían considerarse los efectos potenciales sobre la calidad del grano de arroz de la técnica, así como el impacto que podría tener en los precios de venta del cultivo.

La evaluación social muestra mejores resultados que la privada, principalmente debido a que el ahorro de costos es significativamente mayor por la consideración de la externalidad positiva asociada a las emisiones evitadas de gases de efecto invernadero. Lo anterior implica que el VPN sea considerablemente mayor en este caso, aunque sigue siendo negativo. Sin embargo, se identificaron otras externalidades ambientales positivas derivadas de la implementación de la técnica que no pudieron ser cuantificadas y valoradas, dado que la información disponible era limitada. Por lo tanto, la evaluación social puede arrojar mejores resultados si se cuenta con las investigaciones necesarias para incorporar cuantitativamente

estos efectos positivos asociados al menor uso de agua del riego intermitente.

En la medida que la técnica de riego intermitente analizada en este estudio supone un menor consumo de agua para riego y es una medida de adaptación y mitigación del cambio climático, es deseable que desde las políticas públicas se generen los incentivos económicos para su implementación, dado que no resulta rentable para el caso más representativo de productores arroceros. La modalidad de contratos por el servicio de agua para riego que predomina actualmente implica que el menor uso de agua no se vea reflejado en menores costos de producción. La determinación de precios variables en función del volumen consumido puede incentivar la adopción de técnicas de riego más eficientes en el uso del agua. Sin embargo, esta alternativa puede implicar una caída significativa en los ingresos del proveedor del servicio de agua ya que, si bien podría distribuir el excedente de agua a otros productores, esto implica inversiones adicionales que pueden resultar costosas.

A su vez, este trabajo no considera la situación del productor propietario del agua. Las consultas a referentes del sector plantean que este productor podría destinar el agua excedente a otros usos y obtener así un ingreso adicional; sin embargo esto está sujeto a otros factores, como por ejemplo, la distancia de la reserva de agua al cultivo.

Las evaluaciones realizadas no consideran las diferencias entre las distintas regiones de producción arroceras del país (Este, Norte-Litoral oeste y Centro), en cuanto a los rendimientos obtenidos, las características geográficas (tipos de suelo y topografía), la disponibilidad de agua y los impactos del clima. Los resultados podrían ser divergentes para cada región, por lo que se requiere estudiar con mayor profundidad los distintos casos.

5. Bibliografía

ACA, GMA (2013). Guía de Buenas Prácticas en el Cultivo de Arroz en Uruguay.

ACA (2018). Datos estadísticos. Asociación de Cultivadores de Arroz. Disponible en: <http://www.aca.com.uy/datos-estadisticos>. Fecha de última consulta: 12/07/2018.

Aguirre, E., Baraldo, J. y Durán, V. (2017) Evaluación costo beneficio ex-ante del Proyecto DACC Adicional. Anuario OPYPA 2017, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo.

Cantou, G. y Roel, A. (2010). Manejo del riego: productividad del agua, Arroz Resultados Experimentales 2009-2010, INIA Treinta y Tres, Capítulo 2: Riego (pp. 1-12), Setiembre 2010, Actividades difusión N° 611.

Capurro, M. C., Tarlera, S., Irisarri, P., Cantou, G., Riccetto, S., Fernández, A. y Roel, A. (2015). Cuantificación de Emisiones de Metano y Óxido Nitroso bajo dos manejos del riego contrastantes en el cultivo de arroz, INIA, Serie Técnica 220.

Carracelas, G., Cora, P. y Ferres, S. (2016). Monitoreo de prácticas de manejo de riego en chacras comerciales, INIA, Serie Técnica 233, pp. 56-60.

DIEA (2017). Encuesta de arroz, zafra 2016/2017, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Serie Encuestas N° 346, Montevideo, Uruguay

HM Treasury (2003). The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government. Annex 4: Risk and Uncertainty. pp. 79–89. Treasury Guidance. Londres.

Nordhaus, W. (2014) Estimates of the social cost of carbon: concepts and results from the DICE-2013R model and alternative approaches, Journal of the Association of Environmental and Resource Economists, 1(1/2), 273-312.

Porteiro, J. (2007). Evaluación de Proyectos de Inversión, Perspectiva Empresarial, Fundación de Cultura Universitaria, ISBN: 9974-39-498-8, Montevideo.

Ricchetto, S.; Capurro, M. C.; Roel, A. (2016). Estrategias para minimizar el consumo de agua del cultivo de arroz en Uruguay manteniendo su productividad, Agrociencia Uruguay - Volumen 21 1:109-119 - junio 2017.

Rosas, J. F. (2018). Consultoría implementación de un análisis costo-beneficio de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (CDN) de Uruguay. Contractual de Productos y Servicios Externos (PEC). Producto 5: Informe Final. WSA/CUR. Montevideo.

SDSN (2017). A transformational pathway for Uruguay's rice sector, Sustainable Development Solutions Network, Thematic group 7: Sustainable Agriculture and Food Systems.

SNIP (2014). Precios sociales y pautas técnicas para la evaluación socioeconómica, Sistema Nacional de Inversión Pública, Oficina de Planeamiento y Presupuesto.