

Análisis Costo-Beneficio de medidas de adaptación al cambio climático: Riego intermitente en el cultivo de arroz en Uruguay.

Carolina Balian¹
Magdalena Borges²
Mariela Buonomo³
María Eugenia Silva⁴

Resumen

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 área. 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). El ACB permite realizar una evaluación ex-ante de 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.

Palabras clave: riego intermitente; arroz; análisis costo-beneficio; adaptación al cambio climático; políticas públicas.

Abstract

This study aims at evaluating the social and economic feasibility of the Alternate Wetting and Drying (AWD) irrigation technique in the rice sector in Uruguay, by applying the cost-benefit analysis methodology. Additionally, this study intends to generate inputs to make public policy recommendations regarding irrigation in rice crops. The cost-benefit analysis (CBA) methodology is one of the available tools for improving the design of public policies in the MGAP that is promoted by the National Adaptation Plan for Agriculture (NAP-Ag). CBA allows to conduct ex-ante evaluations of alternative adaptation strategies and provides information to prioritize them. The adoption of adaptation strategies depends, among other things, on how convenient they are both from the social and economic point of view.

¹ Economista, Técnica 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

² Economista, Contadora, MSc(c), Técnica de OPYPA, Unidad de Sostenibilidad y Cambio Climático. Convenio INIA-OPYPA, maborges@mgap.gub.uy

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

⁴ Economista, MBA(c), Técnica de OPYPA, Unidad de Sostenibilidad y Cambio Climático. Convenio INIA-OPYPA, mesilva@mgap.gub.uy

Este trabajo fue realizado por técnicos de la Unidad de Sostenibilidad y Cambio Climático de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). El estudio se llevó a cabo en el marco del proyecto de elaboración del Plan Nacional de Adaptación al cambio y la variabilidad climática para el sector agropecuario (PNA-Agro)⁵ y del Convenio en Economía de Recursos Naturales entre el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y OPYPA.

Los supuestos y resultados presentados en este documento han sido validados en talleres y consultas a técnicos de OPYPA, INIA y la Asociación de Cultivadores de Arroz, entre otras instituciones, y a consultores privados en riego. Además, se contó con el apoyo técnico del Instituto SARAS.

⁵ El Proyecto “Integración de la Agricultura en los Planes Nacionales de Adaptación” es liderado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y financiado por el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) de Alemania.

1. Objetivo y antecedentes

La adaptación al cambio y la variabilidad climática es una de las líneas estratégicas transversales del MGAP desde el 2010. En este marco se han diseñado e implementado diferentes políticas, programas e iniciativas para promover la adaptación de los sistemas productivos agropecuarios. Algunos ejemplos son la creación del Sistema Nacional de Información Agropecuaria (SNIA), el desarrollo de seguros de índice para algunos rubros productivos, la promoción del manejo sostenible de la ganadería, y los planes de uso y manejo del suelo. En este contexto, 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.

La metodología de análisis costo-beneficio (ACB) es una de las herramientas propuestas en el proyecto PNA-Agro. El ACB permite realizar una evaluación ex-ante de las estrategias de adaptación alternativas y es un insumo para la priorización de éstas. La promoción y difusión de estas estrategias desde las políticas públicas y su adopción por parte de los productores depende, entre otras cosas, de qué tan convenientes sean desde el punto de vista privado y social.

Además, el ACB se definió como herramienta de evaluación ex-ante de las medidas de mitigación y adaptación incluidas en la primera Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC, por su sigla en inglés) de Uruguay al Acuerdo de París⁶. La NDC de Uruguay visibiliza los esfuerzos ya realizados y contiene metas concretas para la adaptación, desde la perspectiva de adaptación y sus co-beneficios. El riego intermitente en arroz es una de las medidas de adaptación y mitigación incluidas en la primera NDC del país.

En la elaboración de este trabajo participaron economistas de la Unidad de Sostenibilidad y Cambio Climático de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) del MGAP, en el marco del Convenio para la realización de estudios en Economía de Recursos Naturales entre el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y OPYPA. INIA realiza ensayos e investigaciones en arroz y particularmente en la implementación del riego intermitente, con foco en el uso de agua, emisiones de gases de efecto invernadero y rendimiento de la producción. Los resultados de esos ensayos son la base para la realización de este trabajo. Se contó además con el apoyo técnico del Instituto SARAS para la aplicación de la metodología de ACB⁷.

El objetivo de este estudio es determinar la viabilidad económica y social ex-ante de la técnica de riego intermitente en arroz en Uruguay, aplicando la metodología de ACB. Adicionalmente, este estudio apunta a generar insumos para recomendaciones de políticas públicas en esta área.

⁶ La NDC es el instrumento por medio del cual los países comunican sus metas de mitigación y adaptación (contribución voluntaria) en el marco del Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Por más información, consultar “El rol del sector agropecuario en la primera contribución nacionalmente determinada de Uruguay al Acuerdo de París” (Silva y Oyhantçabal, 2017).

⁷ Los consultores que apoyaron este trabajo a través del Instituto SARAS fueron Matías Piaggio, Miguel Carriquiry y Guillermo Sena.

2. Riego intermitente en el cultivo de arroz en Uruguay

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. Además de aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, esta técnica contribuye al control de malezas y a 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.

En términos de adaptación al cambio climático, el riego intermitente es una medida que permite disminuir la vulnerabilidad⁸ de los productores arroceros, ya que reduce la dependencia de las precipitaciones a través de un uso más eficiente del agua disponible para riego.

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)⁹.

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

⁸ De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), vulnerabilidad refiere a la propensión o predisposición a ser afectado negativamente (IPCC, 2014).

⁹ Actualmente se está llevando a cabo un proyecto interministerial sobre la Metodología Nexa Agua-Energía-Alimentos, que apunta a la modelización integrada de las interacciones entre la producción de alimentos, el agua, la energía y el clima. Esta herramienta permite evaluar si la disponibilidad de agua futura (contemplando el cambio climático) podría satisfacer la mayor demanda de agua que implicaría incrementar la producción de arroz bajo inundación continua.

ahorro de agua utilizada para riego, también deriva en menores emisiones de gases de efecto invernadero.

El riego es un factor importante en el desarrollo de muchos sistemas productivos, ya que permite afrontar eventos climáticos extremos como los períodos de sequía. En el caso del arroz, el riego es un insumo fundamental, ya que el cultivo requiere que el suelo permanezca húmedo en determinadas fases de su desarrollo. La disponibilidad de agua no es el único factor relevante para la producción de arroz; otras variables climáticas clave son la distribución de las precipitaciones en el período de desarrollo del cultivo, la radiación solar y la temperatura.

La técnica de riego intermitente puede derivar en un menor consumo de energía para el bombeo del agua para riego, debido a que la demanda de agua es menor respecto al riego tradicional. Además, su implementación puede generar una reducción del nivel de arsénico que es absorbido del suelo por el grano de arroz, ya que el cultivo se mantiene inundado por menos tiempo en relación a la práctica tradicional (B. Böcking, com. pers., 2017)¹⁰.

Por otra parte, el manejo del agua está directamente vinculado con la dinámica de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en la producción de cultivos. En el caso del arroz, la inundación del cultivo deriva en floraciones que generan emisiones del gas metano, el cual tiene alto potencial de calentamiento global. Por este motivo, la técnica de riego intermitente que alterna períodos de inundación con períodos sin lámina de agua, implica un co-beneficio de mitigación del cambio climático, ya que permite reducir las emisiones de metano generadas por la inundación (Capurro, M. C. et al., 2015). En Uruguay, el sector agropecuario es responsable del 94% de las emisiones de metano nacionales, derivadas principalmente del proceso de fermentación entérica en la ganadería (95,7%) y también del cultivo de arroz por inundación (2,2%). A su vez, las emisiones del cultivo de arroz representan un 1,1% del total de emisiones de CO₂ equivalente del país¹¹ (MVOTMA, 2017).

El Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) ha llevado a cabo evaluaciones experimentales de diferentes alternativas de manejo del riego durante la etapa vegetativa del cultivo de arroz y sus efectos sobre los rendimientos y el consumo de agua. Los resultados de estas evaluaciones muestran que los sistemas de riego intermitente de lámina variable permiten un importante ahorro en el gasto de agua, sin generar reducciones en los rendimientos del cultivo (Carracelas, G. et al., 2016) o con caídas poco significativas en los mismos (Ricetto, S. et al., 2016). Sin embargo, cuando se aplican tratamientos más restrictivos, que alternan períodos de suelo seco y húmedo, se observa un impacto negativo significativo sobre los rendimientos. A pesar de esto, en los estudios mencionados se resalta la necesidad de profundizar la investigación en alternativas de riego controlado que permitan introducir restricciones hídricas que no impliquen una disminución en la productividad del cultivo (Carracelas, G. et al., 2016; Ricetto, S. et al., 2016).

¹⁰ Igualmente, en Uruguay los niveles de arsénico del arroz son bajos en relación con el estándar internacional (Queheille, N.).

¹¹ Las emisiones de metano derivadas del cultivo de arroz (16,2 Gg metano) se multiplican por el potencial de calentamiento global del gas respecto al CO₂ (21) y se dividen sobre el total de emisiones del país (32.362 Gg CO₂ eq).

Una alternativa para mitigar la caída en los rendimientos mencionada es modificar la sistematización de la chacra¹², previo a la implementación de la técnica, con nivelación controlada (para lograr una pendiente uniforme). Sin embargo, lo anterior es de difícil implementación actualmente, dada la falta de la maquinaria requerida para este fin en el país (A. Roel, com. pers., 2018). Por lo tanto, en este estudio se asume que no hay modificaciones en la sistematización de la chacra, lo cual conlleva una caída en los rendimientos del cultivo bajo riego intermitente (Ricetto et al., 2016; Cantou, G. y Roel, A., 2010).

3. 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 de 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 valor presente neto 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 los flujos de ingresos incrementales son superiores a los de egresos incrementales descontados; es decir, cuando el VPN incremental es mayor que cero. La tasa interna de retorno (TIR) es otro 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).

¹² La sistematización consiste en el diseño de un plan de manejo que permita regar y drenar el sitio seleccionado de forma eficiente. Este plan involucra la construcción de canales para riego y drenaje, caminos internos, nivelación de la superficie del suelo y construcción de taipas (ACA y GMA, 2013).

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 (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). Además, la Agencia Alemana de Cooperación Técnica establece que, en el caso del cambio climático, es frecuente que los impactos previstos consideren plazos mayores a 25 años (GIZ, 2011).

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 arrocerero en Uruguay, asumiendo que el productor arrocerero 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. En la zafra 2016/2017, el 79% de la superficie cultivada de arroz estaba bajo arrendamiento (DIEA, 2017), mientras que el 62% de la superficie se regaba mediante la compra del servicio de agua (información adicional solicitada a DIEA). Además, se consideró el caso en el que agua regada se transporta mediante bombeo, ya que para la misma zafra, en el 63% de la superficie cultivada se utilizaba este medio, mientras que el remanente se regaba por gravedad. En particular, del total de área regada mediante bombeo, el 92% se regaba 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).

El precio promedio pagado por los arroceros por el uso de agua para riego a nivel nacional es de 18 bolsas de arroz por hectárea (A. Roel y B. Lanfranco, com. pers., 2018). En la zafra 2016/17, el precio de venta del arroz fue de 10,05 dólares por bolsa con devolución de impuestos (ACA, 2018).

En la Tabla 1 se detallan los principales datos a partir de los cuales se llevó a cabo el análisis costo-beneficio, así como las fuentes de información de donde surgen.

Tabla 1. Información de base y fuentes de información

| Concepto | Valor | Fuente |
|--------------------------|-------|------------------------------|
| Inversión inicial | | |
| Mangas | | |
| Precio mangas (US\$/m) | 0,7 | B. Böcking, com. pers., 2017 |
| Metros de mangas/ha | 55 | B. Böcking, com. pers., 2017 |
| Compuertas | | |

| | | |
|--|-------|--|
| Precio compuertas (US\$) | 1,5 | B. Böcking, com. pers., 2017 |
| Nº compuertas/ha | 2 | B. Böcking, com. pers., 2017 |
| Caño de PVC 250 mm | | |
| Precio caño (US\$/m) | 25 | B. Böcking, com. pers., 2017 |
| Metros de caño (m/ha) | 0,075 | B. Böcking, com. pers., 2017 |
| Costos incrementales | | |
| Agua para riego | | |
| Costo contrato de riego (bolsas de arroz/ha) | 18 | A. Roel y B. Lanfranco, com. pers., 2018 |
| Volumen de agua para riego con riego tradicional (m ³ /ha) | 8.500 | Ricetto, S. et al., 2016 |
| Volumen de agua para riego con riego intermitente (m ³ /ha) | 6.600 | Ricetto, S. et al., 2016 |
| Energía eléctrica (bombeo de agua para riego) | | |
| Costo bombeo eléctrico con riego tradicional (US\$/ha) | 260 | En base a OPYPA |
| Costo bombeo eléctrico con riego intermitente (US\$/ha) | 200 | En base a OPYPA |
| Mano de obra | | |
| Requisito incremental de mano de obra para riego (jornales/ha) | 0 | A. Roel, com. pers., 2018 |
| Fertilizantes y Agroquímicos | | |
| Requisito incremental de fertilizantes y agroquímicos (US\$/ha) | 0 | A. Roel, com. pers., 2018 |
| Otros costos⁽¹⁾ | | |
| Costo incremental de otros costos (US\$/ha) | 0 | Supuesto propio. |
| Beneficios incrementales | | |
| Ingresos por venta de arroz | | |
| Rendimiento con riego tradicional (kg/ha) ⁽²⁾ | 8.124 | ACA, 2018 |
| Rendimiento con riego tradicional (bolsas/ha) ⁽²⁾ | 162 | ACA, 2018 |
| Rendimiento con riego intermitente (kg/ha) | 7.400 | En base a Ricetto, S. et al., 2016 |
| Rendimiento con riego intermitente (bolsas/ha) | 148 | En base a Ricetto, S. et al., 2016 |
| Precio del arroz (US\$/bolsa) ⁽³⁾ | 10,05 | ACA, 2018 |

(1) Incluye laboreo, cosecha, fletes, semilla, secado, reparación y mantenimiento, renta de la tierra, costos financieros y otros gastos administrativos.

(2) Rendimiento promedio de las zafra 2011/12-2016/17.

(3) Precio recibido en la zafra 2016/17 con devolución de impuestos.

Fuente: elaboración propia.

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.

4. Evaluación privada

4.1 Supuestos de la evaluación privada

Se realizó la evaluación privada a nivel de productor con el fin de analizar la factibilidad económica de aplicar la técnica de riego intermitente en el cultivo de arroz, mediante el análisis de los costos y beneficios incrementales respecto al riego tradicional.

La tasa de descuento considerada para la evaluación privada es de 6,33%, de acuerdo al máximo rendimiento real anual de todos los instrumentos financieros en dólares con vencimiento aproximado a 30 años, transados al momento del análisis¹³. Los flujos de fondos futuros se expresan en dólares constantes de 2017.

4.1.1 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). En línea con lo explicado anteriormente, 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.

En base a la rotación de cultivos de la producción arrocera¹⁴, la estructura de riego se retira de la chacra cada vez que culmina la etapa de riego (antes de cosechar) y en la próxima zafra se

¹³ El máximo rendimiento nominal anual de todos los instrumentos financieros con vencimiento aproximado a 30 años transados al 4/01/2018, en la Bolsa Electrónica de Valores (BEVSA), fue de 7,63%. Para obtener la tasa en términos reales se restó la inflación anual de los Estados Unidos para el 2016, año de emisión del instrumento con mayor rendimiento, de 1,3% (FMI, 2018).

¹⁴ El cultivo de arroz en Uruguay se basa en general en un sistema de producción en rotaciones con pasturas y cultivos alternativos, integrado con la producción ganadera. El arroz ocupa en la rotación un período de entre 25

instala en otra superficie dentro de la chacra. Se asumió que la instalación de las mangas, compuertas y caños es realizada por los aguadores contratados sin un costo adicional en mano de obra.

4.1.2 Costos operativos

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. Del volumen total de agua que ingresa a la chacra, tanto del riego como de las precipitaciones, la cantidad que excede del requerimiento hídrico del cultivo se pierde por evaporación directa, percolación profunda y escurrimiento superficial (B. Böcking, com. pers., 2017).

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. En la sección 6 se plantea un escenario alternativo, en el cual los contratos fijan el precio del servicio de agua para riego por volumen de agua utilizada. Si bien este análisis contempló la perspectiva del productor arrendatario de la tierra y del agua, los propietarios de tierra con fuente de agua podrían verse más beneficiados por un menor consumo de agua, ya que los excedentes del recurso podrían utilizarse para aumentar el área sembrada anualmente de arroz, regar otros cultivos (por ejemplo, maíz o pradera) y/o abastecerse en los períodos de menores precipitaciones. En el Norte del país, la mayoría de las chacras bajo propiedad cuentan con una fuente de agua del mismo propietario (B. Böcking, com. pers., 2017).

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, para los productores que riegan mediante bombeo, el menor consumo de agua para riego llevaría a un ahorro en el consumo de energía para bombeo¹⁵.

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

– 30% de la duración de la misma, mientras que el resto del tiempo está ocupada por pasturas naturales regeneradas o siembra de praderas (ACA/GMA, 2013).

¹⁵ El costo del bombeo eléctrico con riego tradicional es de 260 US\$/ha (en base a OPYPA). Asumiendo una relación lineal entre el costo de bombeo y el volumen de agua demandado por cada técnica (ver Tabla 1), este costo en riego intermitente sería de 200 US\$/ha.

húmedo en determinados períodos (A. Roel, com. pers., 2018)¹⁶. 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. De manera simplificada y con criterio conservador, se asume que la inversión no se presenta al Régimen de Promoción de Inversiones y por ende el proyecto no es beneficiario de las exoneraciones tributarias que dicho sistema prevé. Ello podría constituir una sobreestimación de los impuestos a pagar.

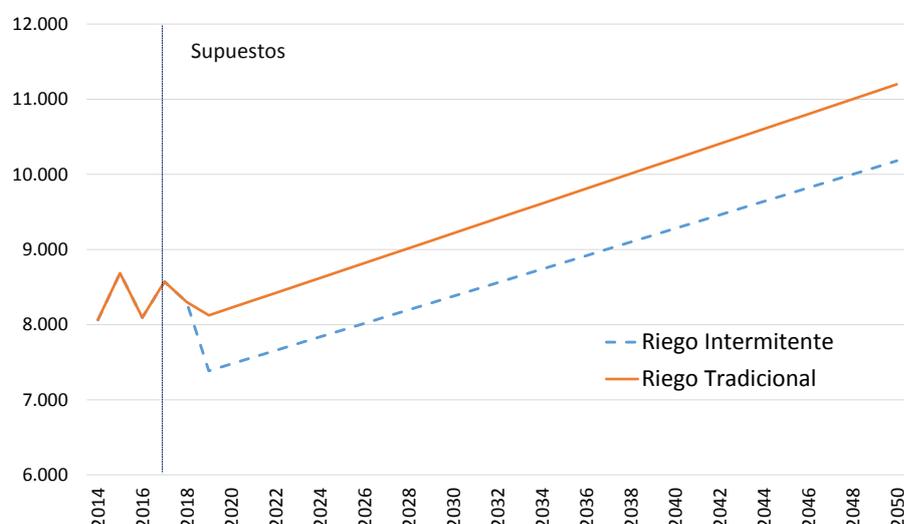
4.1.3 Ingresos

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 (Ricetto, S. et al., 2016).

En virtud de lo anterior y a partir de las consultas realizadas a los investigadores a cargo de los ensayos, 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 (ver Gráfica 1). 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 ton/ha acorde a factores biofísicos y climáticos y contemplando la tecnología actual.

¹⁶ La disponibilidad de nutrientes en el suelo para las plantas es mayor en suelo inundado (o húmedo) respecto a un cultivo que se desarrolla en suelo seco, por lo que la necesidad de fertilización en el primer caso es menor que en el segundo (ACA/GMA, 2013). Cuando el suelo no tiene suficiente humedad, se pierde nitrógeno y esto puede implicar un mayor uso de fertilizantes (B. Böcking, com. pers., 2017).

Gráfica 1. Rendimientos del arroz con proyecciones (kg/ha)



Fuente: elaboración propia.

Para la proyección de los ingresos, se realizaron además proyecciones de largo plazo del precio del arroz. Para eso, se utilizó una regresión lineal entre el precio al productor y el precio internacional. A partir de esta regresión se estimó un coeficiente de ajuste entre ambas variables. El precio internacional se proyectó asumiendo que en el largo plazo el precio de referencia del arroz se ubica en torno a un promedio histórico en términos reales. Se asumió una convergencia desde los valores actuales a dicho valor de equilibrio o de largo plazo.

4.2 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.

Tabla 2. 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.

5. Evaluación social

5.1 Supuestos de la evaluación social

La tasa social de descuento considerada es de 4,7%, en base a 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)¹⁷. Los precios de mercado de la evaluación privada se ajustaron mediante la razón de precios de cuenta (RPC) calculada por el SNIP para cada factor de producción. Los flujos de fondos futuros se expresan a precios constantes del 2017, al igual que en la evaluación privada.

En el caso del costo de mano de obra, se consideró la RPC de la mano de obra rural semicalificada¹⁸ para riego tradicional y para riego intermitente, ya que no se asumen diferencias en la calificación necesaria para una u otra técnica. El precio social de la mano de obra refleja el costo de oportunidad para la sociedad por emplear un trabajador adicional de cierta calificación en un proyecto o en la producción de sus insumos. En el caso del bombeo eléctrico se utilizó la RPC correspondiente a ese gasto, mientras que para los insumos importados se trabajó con la RPC de la divisa (SNIP, 2014).

En la evaluación social no se consideraron los impuestos sobre la venta del cultivo, la compra de insumos y la renta, siguiendo los lineamientos del SNIP.

Por último, se asumió que los mercados secundarios (aquellos en los que se transan bienes o servicios sustitutos y complementarios a los que el proyecto genera y/o demanda como insumos) son eficientes y están en equilibrio, por lo que no se consideran los efectos indirectos del proyecto (Boardman et al., 2011).

5.1.1 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

¹⁷ Se construye una tasa que representa el costo financiero del capital para el país, que surge de ponderar la tasa media estimada del préstamo del Banco Mundial (cerca al 4% para 2017) y la tasa social de descuento para proyectos de inversión de fondos públicos recomendada por el SNIP (7,5%). Las proporciones usadas en la ponderación se corresponden con la contribución del Banco Mundial y del Estado uruguayo en la financiación del proyecto (80% y 20%, respectivamente). La tasa de descuento que resulta de esta estimación es del 4,7%. Este supuesto se sustenta en que la tasa calculada por el SNIP no está acorde a la coyuntura actual de los mercados financieros y puede no reflejar el costo de oportunidad social del dinero, considerando que tasas mayores indican una preferencia intertemporal que penaliza los proyectos que impactan en el más largo plazo. Asimismo, al ajustar por la tasa a la que Uruguay se endeuda, se considera la posibilidad de que la implementación de esta medida se financie con fondos externos.

¹⁸ Se considera como mano de obra semicalificada a aquellos trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requiere estudios previos y que, teniendo experiencia, ésta no es suficiente para ser clasificados como mano de obra calificada (SNIP, 2014).

valorizadas, mientras que cuando no se dispone de información suficiente para aplicar alguna de las técnicas de valoración, estas son sólo identificadas.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

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.

En diversas investigaciones se observa cómo alteraciones en el manejo del riego, como el riego intermitente o el drenaje en la mitad del ciclo del cultivo, son opciones efectivas para reducir las emisiones de metano (CH₄) en el cultivo de arroz. Esta disminución de CH₄ puede ser debido a la aireación que genera el secado del suelo, que suprime la actividad metanogénica (bacterias anaerobias que descomponen la materia orgánica y producen metano) y además puede aumentar la actividad metanotrófica (de organismos capaces de oxidar metano). Por otra parte, las emisiones de óxido nitroso (N₂O) en el cultivo de arroz son generadas a partir de la nitrificación en suelos oxidados y la desnitrificación en suelos semi-reducidos, por lo que se espera que luego de la lluvia o del riego los flujos de N₂O aumenten. Alternar suelo húmedo y seco, crea un ambiente favorable para estos dos procesos (nitrificación y desnitrificación) que puede concluir en mayores emisiones de N₂O (Capurro, M. C. et al., 2015).

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 zafras consecutivas. Los sistemas de riego analizados fueron inundación continua a los 30 días de emergencia y riego intermitente alternando períodos de suelo húmedo y seco hasta primordio floral y luego se realizó inundación continua. El riego intermitente con alternancia de suelo seco y húmedo presentó una acumulación media de metano de 2,461 ton/ha CO₂ equivalente, 55% menor a la observada en la técnica tradicional, de 5,886 ton/ha CO₂ equivalente. Respecto a la acumulación de óxido nitroso, no hubo diferencias significativas entre los dos manejos de riego (Capurro, M. C. et al., 2015). El promedio de las emisiones incrementales de riego intermitente respecto a riego tradicional para las tres zafras es de -3,267 ton/ha CO₂ eq.

Tabla 3. Resultados de ensayos de INIA sobre emisiones bajo distintos sistemas de riego en arroz, promedio para zafras 2010/11-2012/13.

| | Riego intermitente | Riego tradicional | Incremental |
|---|--------------------|-------------------|-------------|
| Emisiones CH ₄ (ton/ha CO ₂ eq.) | 2,461 | 5,886 | -3,425 |
| Emisiones N ₂ O (ton/ha CO ₂ eq.) | 0,345 | 0,187 | 0,158 |
| Total emisiones | 2,806 | 6,073 | -3,267 |

Fuente: elaboración propia en base a Capurro, M. C. et al. (2015)

Por otro lado, el menor consumo de energía para el bombeo del agua regada que conlleva el menor consumo de agua, también implica un co-beneficio de mitigación, ya que se generan menores emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la utilización de energía eléctrica. Sin embargo, dado que la matriz eléctrica de Uruguay se compone mayormente de fuentes renovables, este co-beneficio adicional no se analiza con mayor profundidad.

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). Este se define como el costo monetario a nivel global generado por una tonelada adicional de carbono emitida, en términos del consumo anual, para determinado período. Para una evaluación social, el CSC refleja más adecuadamente el costo para la sociedad de las emisiones de GEI que el precio que pueda obtenerse de los mercados de carbono, y las estimaciones de Nordhaus son ampliamente citadas en análisis de este tipo (Rosas, J. F., 2018). La siguiente tabla muestra la trayectoria del CSC correspondiente al escenario de aumento de temperatura global menor a 2 °C, estimada por Nordhaus (2014).

Tabla 4. Costo social del carbono, US\$/ton CO₂ eq.

| 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2050 |
|------|------|------|------|------|
| 25,0 | 30,6 | 37,1 | 44,7 | 87,9 |

Fuente: Nordhaus (2014). Valores expresados en dólares constantes de 2005.

Para obtener una serie anual del CSC correspondiente al período de análisis del presente estudio, se hizo una interpolación lineal entre años y se ajustaron los valores mediante la tasa de inflación histórica de los Estados Unidos para obtener el CSC en dólares constantes del 2017. Esto resulta en una serie que adquiere el valor de 27,8 US\$/ton en 2018 y 50,4 US\$/ton en 2050, con un promedio lineal entre puntas de 38,6 US\$/ton.

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). Si la aplicación de fertilizantes es equivalente, el riego intermitente implica menores pérdidas de fósforo por escurrimiento de agua, ya que, al estar el suelo en estado anaeróbico durante menos tiempo del ciclo del cultivo respecto a la inundación continua, el fósforo en solución va a ser significativamente menor debido a la reducción del hierro. En el caso del nitrógeno, la pérdida de N mineral en el suelo por desnitrificación es sensiblemente mayor con riego intermitente, generando un aumento en las emisiones de óxido nitroso, pero disminuyendo las de metano (C. Perdomo, com. pers., 2018), tal como se desarrolló en el apartado anterior.

Para la cuantificación de este efecto, se debería contar con un coeficiente de exportación de fósforo y nitrógeno para la producción de arroz bajo riego intermitente calibrados para Uruguay, ya que actualmente solo se cuenta con coeficientes para riego tradicional (P. Reali, com. pers., 2018). Asimismo, para la valoración de la reducción en las exportaciones de nutrientes, se deberían identificar los beneficios incrementales derivados de este efecto (típicamente asociados a recreación, pesca y consumo humano), y luego hacer una revisión bibliográfica internacional de estas estimaciones para ajustar la valoración (M. Piaggio, com. pers., 2018).

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.

5.2 Resultados de la evaluación social

La tabla que sigue contiene los principales resultados para la evaluación social.

Tabla 5. 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.

6. Escenario alternativo, análisis de sensibilidad parcial y análisis de Monte Carlo

Para realizar las evaluaciones presentadas anteriormente se trabajó con un escenario de base, siguiendo los supuestos detallados en las secciones 4.1 y 5.1. No obstante, esos supuestos están sujetos a un alto grado de incertidumbre y por lo tanto, es necesario realizar análisis complementarios que incorporen potenciales riesgos futuros. En ese marco, se realizó la evaluación de un escenario alternativo de contratos flexibles de servicio de agua, un análisis de sensibilidad parcial y un análisis de Monte Carlo.

6.1 Escenario alternativo: contratos flexibles de servicio de agua

6.1.1 Descripción del 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.

Sin embargo, también existen algunos ejemplos de contratos en Uruguay que establecen un precio por volumen de agua consumido para riego, aunque son la minoría (B. Böcking, com. pers., 2017). Este tipo de contratos permite pagar por el agua efectivamente utilizada en el caso de los arrendatarios de agua y, por ende, permite internalizar el uso eficiente del agua que genera el riego intermitente (más allá del ahorro de energía en los casos de bombeo, que sí es capturado en el escenario base).

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 flexibles de servicio de agua que establecen un pago en función del volumen efectivamente utilizado con fines de riego.

Como se comentó anteriormente, el riego intermitente insume menor cantidad de agua respecto al riego tradicional. Asumiendo una relación lineal entre el precio promedio pagado por hectárea regada y los metros cúbicos demandados por cada técnica (ver Tabla 1), 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.

6.1.2 Resultados para el escenario alternativo

A continuación, se presentan los resultados del ACB desde la perspectiva privada y social para el escenario alternativo y la comparación con el escenario base.

Tabla 6. Principales resultados de la evaluación privada para el escenario alternativo y de base, en dólares constantes de 2017

| | Escenario base | Escenario alternativo |
|--------------------------------|----------------|-----------------------|
| Tasa de descuento | 6,325% | 6,325% |
| Beneficios totales descontados | (902.691) | (902.691) |
| Costos totales descontados | 299.060 | 516.725 |
| Inversión total | (80.100) | (80.100) |
| VPN | (683.730) | (466.066) |
| TIR | N/A | N/A |

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 en el 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.

Tabla 7. Principales resultados de la evaluación social para el escenario alternativo y de base, en dólares constantes de 2017

| | Escenario base | Escenario alternativo |
|--------------------------------|----------------|-----------------------|
| Tasa de descuento | 4,7% | 4,7% |
| Beneficios totales descontados | (1.101.558) | (1.101.558) |
| Costos totales descontados | 1.046.926 | 1.309.418 |
| Inversión total | (78.018) | (78.018) |
| VPN | (132.650) | 129.843 |
| TIR | N/A | N/A |

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.

6.2 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 la Tabla 8 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.

Tabla 8. 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.

6.3 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 (utilizando un programa informático) 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. A continuación, se describen las principales conclusiones derivadas de dicho análisis.

- Los pronósticos de precipitaciones no inciden en forma significativa sobre la toma de decisiones de los productores respecto al riego. En general, salvo que la lluvia sea inminente, los productores directamente abren la compuerta para regar (B. Böcking, com. pers., 2017). Sin embargo, esto no quiere decir que la frecuencia e intensidad de las precipitaciones no tengan ninguna incidencia sobre la producción de arroz.
- El exceso de lluvias durante la primavera podría retrasar y dificultar la siembra, lo que causaría mermas en la cosecha, debido fundamentalmente a que se incrementa el riesgo de esterilidad por frío sobre finales del verano (CIRCVC-UDELAR, 2013).
- Asimismo, la abundancia de lluvias durante el desarrollo del cultivo también podría afectar el rendimiento, debido a la disminución de la radiación solar por una mayor nubosidad (Giménez, A. et al., 2009).
- Por otra parte, el exceso de precipitaciones sobre el final de la zafra podría provocar pérdidas de productividad por dificultades en las operaciones de cosecha (Jones, C. y Balian, C., 2017).
- Los rendimientos obtenidos en los años caracterizados como Niño (ocurrencia de lluvias por encima del promedio) generalmente son más bajos, principalmente debido a que se observa una menor radiación y temperatura. Por el contrario, los años caracterizados como Niña (ocurrencia de lluvias por debajo del promedio) están asociados generalmente con altos rendimientos, debido a la mayor radiación y las mayores temperaturas que se observan en esos períodos (CIRCVC-UDELAR, 2013).
- Sin embargo, episodios de déficit hídrico podrían impedir que las represas tengan suficiente agua para cubrir los requerimientos del cultivo, aunque esto no fue señalado como una gran preocupación para el sector.
- Otros factores climáticos que pueden afectar la producción de arroz son el viento y el granizo (Jones, C. y Balian, C., 2017 y B. Böcking, com. pers., 2017).

Considerando las conclusiones anteriores, queda en evidencia la importancia de tres variables climáticas clave: la radiación solar, la heliofanía y la temperatura. Luego de realizar las consultas y la revisión bibliográfica, 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 arroceras. El período que se utilizó para el análisis abarca desde octubre del año de inicio de la zafra arroceras 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 el rendimiento fue evaluado a través del cálculo del coeficiente de correlación lineal. La Tabla 9 muestra los resultados del coeficiente entre el rinde y cada una de las variables climáticas (penúltima columna) y su grado de significación estadística (última columna). También se calcularon los coeficientes de correlación entre las distintas variables climáticas (resto de las columnas). Las correlaciones fueron estimadas sobre

las variables en diferencia para evitar una sobre-estimación de los coeficientes, en caso de que las series presentaran tendencia. De acuerdo a estos resultados, las variables climáticas que mostraron una correlación más fuerte con el rendimiento en el período analizado fueron: las precipitaciones acumuladas, la heliofanía, la radiación solar y la temperatura máxima.

Tabla 9. Matriz de correlaciones, variables en diferencia, para el período 1972/73 – 2017/18

| | Temp. promedio | Temp. max | Temp. min | Heliofanía | Rad. solar | Evapotrans. | Precip. Acum. | Viento. 2m.km.24hs | Temp.Mín. <15°C | Unid.Térm. Arroz | Rinde | p-value |
|---------------------------|----------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|--------------------|-----------------|------------------|-------|----------|
| Temperatura promedio | 1,00 | 0,51 | 0,67 | -0,15 | -0,15 | 0,16 | 0,07 | 0,00 | -0,62 | 0,99 | 0,17 | 0,255 |
| Temperatura máxima | 0,51 | 1,00 | -0,30 | 0,66 | 0,66 | 0,17 | -0,69 | -0,06 | 0,28 | 0,51 | 0,62 | 0,005 * |
| Temperatura mínima | 0,67 | -0,30 | 1,00 | -0,74 | -0,74 | 0,04 | 0,68 | 0,05 | -0,93 | 0,66 | -0,34 | 0,018 ** |
| Heliofanía | -0,15 | 0,66 | -0,74 | 1,00 | 1,00 | 0,17 | -0,77 | 0,06 | 0,69 | -0,12 | 0,64 | 0,002 * |
| Radiación solar | -0,15 | 0,66 | -0,74 | 1,00 | 1,00 | 0,16 | -0,78 | 0,07 | 0,69 | -0,11 | 0,64 | 0,002 * |
| Evapotranspiración | 0,16 | 0,17 | 0,04 | 0,17 | 0,16 | 1,00 | -0,18 | -0,02 | -0,02 | 0,16 | -0,09 | 0,562 |
| Precipitación acumulada | 0,07 | -0,69 | 0,68 | -0,77 | -0,78 | -0,18 | 1,00 | 0,00 | -0,68 | 0,07 | -0,65 | 0,000 * |
| Viento 2m km 24hs | 0,00 | -0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | -0,02 | 0,00 | 1,00 | -0,17 | 0,01 | -0,03 | 0,829 |
| Temperatura mínima < 15°C | -0,62 | 0,28 | -0,93 | 0,69 | 0,69 | -0,02 | -0,68 | -0,17 | 1,00 | -0,62 | 0,34 | 0,019 ** |
| Unidades Térmicas Arroz | 0,99 | 0,51 | 0,66 | -0,12 | -0,11 | 0,16 | 0,07 | 0,01 | -0,62 | 1,00 | 0,19 | 0,208 |
| Rinde | 0,17 | 0,62 | -0,34 | 0,64 | 0,64 | -0,09 | -0,65 | -0,03 | 0,34 | 0,19 | 1,00 | |

Nota: * Significativa al 1%, ** Significativa al 5%. Las restantes son no significativas.

Fuente: elaboración propia en base a datos de INIA¹⁹.

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 ello nuevamente se tomaron en cuenta las variables sin tendencia, dado que en las últimas décadas los rindes del arroz han mostrado una clara trayectoria ascendente, aunque con importantes fluctuaciones. Ese crecimiento tendencial se asocia generalmente a cambios tecnológicos, mientras que la variabilidad se vincula con cambios en las condiciones climáticas.

Por lo tanto, para observar el impacto del clima en los rindes se definió, por un lado, una ecuación de largo plazo que refleja la tendencia y, por otro lado, una ecuación de corto plazo que explica los desvíos de los rendimientos respecto a esa tendencia. En las siguientes tablas se presenta la regresión que mostró un mejor ajuste para la ecuación de largo plazo (Tabla 10) y de corto plazo (Tabla 11), luego de probar varios modelos con distintos grupos de variables independientes.

Tabla 10. Ecuación de largo plazo

| Variable dependiente: Rendimientos del arroz | | |
|--|-------------|---------|
| VARIABLES INDEPENDIENTES | Coeficiente | P-valor |
| Tendencia | 107 | 0,000 |
| Constante | 3.412 | 0,000 |

N= 47 observaciones. R2= 86%.

¹⁹ Por información sobre cómo se definen las variables incorporadas en la matriz, dirigirse al siguiente enlace: <https://bit.ly/2MMOWn7> (variables en banco de datos agroclimáticos, INIA-GRAS).

Tabla 11. Ecuación de corto plazo

| Variable dependiente: Diferencia de Rendimientos del arroz (t - t-1) | | |
|--|------------|---------|
| Variablen Independientes | Coficiente | P-Valor |
| Residuo del modelo de largo plazo en t-1 | -0,42 | 0,000 |
| Diferencia Heliofanía (t - t-1) | 322 | 0,006 |
| Diferencia Temperatura Máxima (t - t-1) | 201 | 0,044 |

N= 45 observaciones. R2= 69%.

Del análisis previo, se puede afirmar que hay evidencia de 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 (de todas formas, dicha variable está muy correlacionada con las variables del modelo, de acuerdo a la Tabla 9)²⁰. 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.

Mientras que el análisis de regresión presentado anteriormente se llevó a cabo para evaluar cuáles son las variables climáticas con mayor incidencia en la determinación de los rindes, para realizar el análisis de Monte Carlo se utilizó el método propuesto en la Guía de Análisis Costo Beneficio (FAO-PNUD, 2018), que implica trabajar con rangos.

El proceso comienza con la determinación de la distribución histórica de la variable seleccionada. En este caso, se constató que la temperatura máxima tiene una distribución normal, por lo que se le ajustó esa función en el programa estadístico R. Los parámetros obtenidos fueron los siguientes: media de 26,3 °C y varianza de 0,62 °C.

En cuanto a la distribución esperada en el futuro, de acuerdo a las proyecciones realizadas por Bentancur y Molinari (2018)²¹, la temperatura máxima en la zona Este del país para el período octubre-abril se incrementaría en alrededor de 1,3 °C, mientras que el desvío aumentaría 0,15 °C en el promedio de los próximos treinta años (hasta 2050) frente al promedio histórico²². Por lo tanto, para reflejar el impacto del cambio climático, se redefine la función de distribución de la temperatura máxima, sumando estos valores a los anteriores parámetros de media y varianza. Esta metodología es consistente con la definición de cambio climático del IPCC como “variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las

²⁰ Aunque en algunos casos particulares, en los que se consideraron las lluvias y la temperatura, ambas resultaron significativas, pero el grado de ajuste era menor que en la ecuación considerada aquí y otros indicadores también empeoraban.

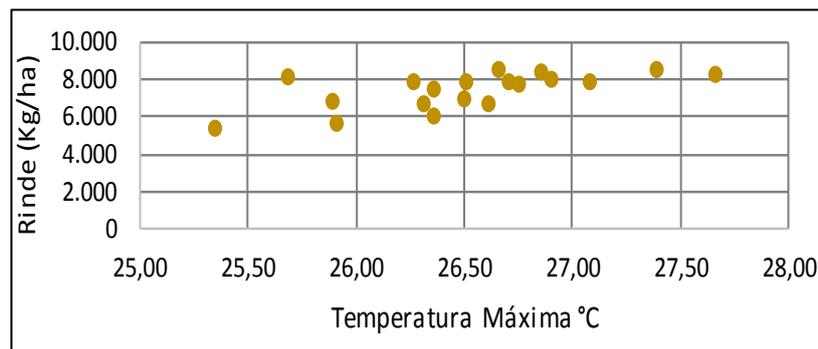
²¹ El estudio “Proyecciones climáticas mediante reducción de escala estadística para Uruguay”, elaborado en el marco del proyecto PNA-Agro, aún no ha sido publicado.

²² Para realizar estos cálculos se tomaron en cuenta los resultados de la reducción de escala estadística realizado a partir de las salidas del Modelo General de Circulación (GCM, según su sigla en inglés) MPI para el RCP 8.5 (trayectoria de emisión de gases de efecto invernadero en un escenario en el que no se toman acciones para reducir las emisiones).

variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos” (IPCC, 2014).

Dado que los rendimientos del arroz es una variable que afecta los resultados del VPN, para vincular la función de distribución encontrada con el flujo de fondos, se analiza la relación existente entre la temperatura máxima y los rendimientos del cultivo. La Gráfica 2 muestra la relación observada entre estas variables en las últimas dos décadas.

Gráfica 2. Relación entre temperatura máxima y rindes



Fuente: elaboración propia

A partir de la gráfica anterior, se puede establecer la siguiente relación:

Temperatura máxima < 25,50 – Rindes arroz 6.000 kg/ha
 25,50 < Temperatura máxima < 26,0 – Rindes arroz 6.500 kg/ha
 26,0 < Temperatura máxima < 26,50 – Rindes arroz 7.500 kg/ha
 26,50 < Temperatura máxima < 270 – Rindes arroz 8.000 kg/ha
 270 < Temperatura máxima < 27,50 – Rindes arroz 8.500 kg/ha
 Temperatura máxima > 27,50 – Rindes arroz 8.600 kg/ha

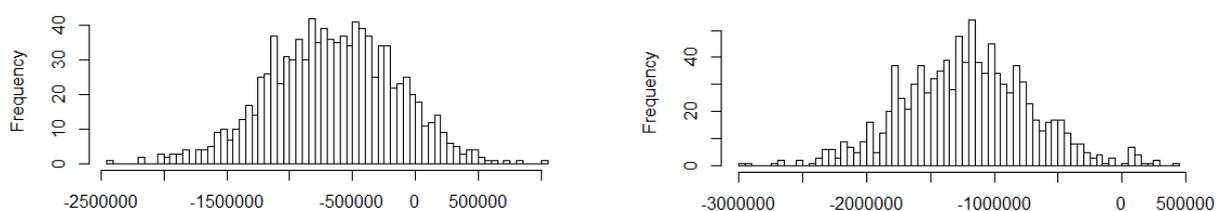
Una vez definidos los rangos de temperatura máxima y los rendimientos correspondientes²³, se realizaron simulaciones de distintos escenarios de temperatura siguiendo la distribución encontrada previamente. Como para cada valor de la variable climática se definió un nivel de rendimiento correspondiente, la realización de un alto número de simulaciones (1.000) permitió llegar a una distribución esperada de rendimientos.

A su vez, luego de realizar muchas 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

²³ Cabe destacar que en esta aproximación no quedaron contemplados los cambios tecnológicos que se observan en los últimos años y que afectan la relación entre las variables analizadas. A su vez, la adopción de tecnologías más avanzadas en el futuro por parte de los productores que actualmente están más rezagados, seguiría afectando dicho vínculo. Por este motivo, en lugar de tomar una relación fija entre temperatura y rindes, los rangos definidos previamente fueron luego reestimados y expresados en función de la tendencia de crecimiento lineal de los rendimientos.

continuación, se presentan los resultados de la función de distribución esperada del VPN para el escenario base en términos constantes, correspondiente a la evaluación privada (Gráfica 3) y la social (Gráfica 4). Los resultados se presentan tanto para la situación con proyecto (riego intermitente) como sin proyecto (riego tradicional)²⁴. Adicionalmente, se calculó la probabilidad de que el VPN sea positivo; estos resultados se muestran debajo de las gráficas.

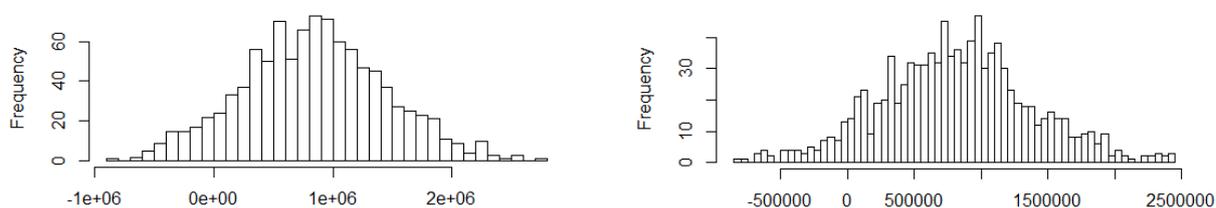
Gráfica 3. Función de Densidad de Probabilidad del VPN, en US\$. Evaluación privada para el escenario base en términos constantes. Riego tradicional (izquierda) y riego intermitente (derecha).



Probabilidad de VPN > 0: 9%

Probabilidad de VPN > 0: 0,5%

Gráfica 4. Función de Densidad de Probabilidad del VPN, en US\$. Evaluación social para el escenario base en términos constantes. Riego tradicional (izquierda) y riego intermitente (derecha).



Probabilidad de VPN > 0: 91%

Probabilidad de VPN > 0: 93%

De las gráficas correspondientes a la evaluación privada, se puede concluir que 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 la Tabla 2 de la sección 4.2 y la Tabla 5 de la sección 5.2, respectivamente.

²⁴ Si bien la trayectoria de los rindes en cada situación es distinta, se asume que los desvíos que presentan los mismos respecto a su tendencia ante cambios en la temperatura son iguales.

7. 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 sí 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 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.

Con respecto al impacto del cambio climático en el rendimiento del cultivo de arroz, se pueden llevar a cabo análisis adicionales para estudiar su efecto en distintas etapas de desarrollo del cultivo y en las distintas regiones arroceras del país. En este sentido, actualmente se está aplicando el Sistema de Modelación de los Impactos del Cambio Climático en el Sector Agropecuario (MOSAICC, por su sigla en inglés) en el marco del PNA-Agro. Asimismo, se está desarrollando un análisis de aptitud de suelos para la soja, que también evalúa los impactos del clima en distintas regiones y etapas del cultivo, que podría replicarse posteriormente para el arroz²⁵.

²⁵ El estudio está siendo desarrollado en el marco de la tesis de maestría en Desarrollo Regional Sustentable en la Universidad de Deakin de Magdalena Borges.

Referencias

- 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.
- Bentancur, V. y Molinari, M. (2018) *Proyecciones climáticas mediante reducción de escala estadística para Uruguay* (informe inédito), FAO-PNUD.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R. y Weimer, D. L. (2011) *Cost-benefit analysis: concepts and practice*, Fourth edition, Cambridge University Press.
- 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.
- CIRCVC-UDELAR (2013) *Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay: Volumen 3: Sensibilidad y capacidad adaptativa de los agro-ecosistemas frente a los efectos del cambio climático*, FAO, MGAP.
- DIEA (2017) *Encuesta de arroz, zafra 2016/2017*, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Serie Encuestas N° 346, Montevideo, Uruguay.
- FMI (2018) *World Economic Outlook Database*. Disponible en: <https://bit.ly/2q6sxY6>. Fecha de última consulta: 10/07/2018.
- Giménez, A., Castaño, J. P., Baethgen, W. E. y Lanfranco, B. (2009) *Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario*, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
- GIZ (2011) *Costos y Beneficios de la Adaptación al Cambio Climático en América Latina*. Realizado para la Cooperación Alemana al Desarrollo. Lima.
- HM Treasury (2003) *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*. Annex 4: Risk and Uncertainty. pp. 79–89. Treasury Guidance. Londres.
- IPCC (2014) *Anexo II: Glosario*. En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo

Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, pp. 127-141.

Jones, C. y Balian, C., (2017) *Diálogos de adaptación para la construcción del Plan Nacional de Adaptación al cambio y la variabilidad climática para el sector agropecuario*, Anuario OPYPA 2017, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo.

MVOTMA (2017) *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014*, Segundo Informe Bienal de Actualización a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - Uruguay 2017, Montevideo.

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.

Nordhaus, W. D. (2017). *Revisiting the social cost of carbon*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), pp. 1518-1523, Disponible en: <http://www.pnas.org/content/114/7/1518>. Fecha de última consulta: 03/02/2018.

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

Ricetto, 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.

Silva, M.E. y Oyhantçabal, W. (2017) *El rol del sector agropecuario en la primera Contribución Nacionalmente Determinada de Uruguay al Acuerdo de París*, Anuario OPYPA 2017, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo.

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

Informantes calificados consultados:

Álvaro Roel, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)

Bernardo Böcking, Grupo de Desarrollo del Riego (GDR) y Donistar S.C.

Bruno Lanfranco, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)

Carlos Perdomo, Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (FAGRO/UDELAR)

Cecilia Jones, Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA/MGAP)

Darío Fuletti, Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA/MGAP)

Diego Campoy, Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA/MGAP)

Felipe García, Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA/MGAP)

Gonzalo Carracelas, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)

Lucía Salgado, Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA/MGAP)

María Noel Ackermann, Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA/MGAP)

María Noel Sanguinetti, Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA)

Natalia Queheille, Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA)

Pablo Reali, Dirección Nacional de Medio Ambiente del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (DINAMA/MVOTMA)

Pedro Queheille, Instituto Nacional de Semillas (INASE)

Walter Oyhançabal, Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA/MGAP)