

Metodologías de análisis propuestas para revisión del Fondo Potrerillos y posibles extensiones

Dr. Sebastián Riera

Resumen

Las dificultades de manejo del recurso hídrico se acentúan en situaciones de escasez y requieren un análisis profundo de las circunstancias que permita avanzar hacia un sistema resiliente a estos fenómenos cada vez más frecuentes. Considerando las características del sistema de riego de la provincia de Mendoza y la relevancia del Departamento General de Irrigación (DGI), el presente trabajo se orienta en los ámbitos económicos y jurídicos para revisar la metodología del *Fondo Potrerillos* y sus posibles extensiones. El análisis económico permite el diseño de herramientas eficientes para mejorar la gobernanza del agua en contexto de conflicto de intereses y altos costos de transacción (Gómez et al. 2018). Los instrumentos económicos no siempre se adaptan al manejo de activos tan complejos como el agua para riego; al ser originalmente diseñados para otro tipo de activos y enfocados en conceptos de bienestar con preferencias claramente definidas.

Sin embargo, es deseable considerar *herramientas integrales* desde el punto de vista económico y jurídico que apunten a solucionar el desafío de dotación de agua con demandas crecientes en períodos de escasez en climas áridos y semi-áridos. Entre los objetivos del presente proyecto, se destaca la estimación del costo de ahorro de agua por la inversión en infraestructura de riego, validado considerando las demandas específicas del recurso hídrico por zona de análisis. De esta forma, se logra una estimación del rango de valores aceptables de acuerdo a las características productivas, usos del suelo y sistemas de riego asociados.

Aspectos económicos

Desde la perspectiva económica se propone identificar los efectos y mejorar la estimación de los resultados productivos y de gobernanza del agua. En particular,

1. Los efectos de las inversiones sobre la productividad de los cultivos actuales y futuros.
2. Estimación de productividad marginal del agua
3. Aproximación al costo de oportunidad (económico)
4. Efectos de la tecnificación en riego en valores económicos

Aspectos jurídicos

Revisión de los antecedentes jurídicos que dan sustento a las resoluciones R576/00 HTA, R34/01 HTA, R945/06 HTA, R299/07 HTA.

Modelo económico integral

Este marco teórico aplicado toma en cuenta los cambios en la disponibilidad de agua para riego e interactúa con las necesidades reales para riego. La correcta estimación, aplicación e interpretación del mismo da lugar al sustento económico-productivo del costo de oportunidad del agua. Los incrementos reales de disponibilidad de agua para riego requiere una inversión en infraestructura cuya valoración se detalla a continuación.

Estimación de oferta hídrica

Considerando el promedio de años de escasez, se inicia la traza de la curva de oferta de agua \mathbb{A}_i^O específica para una región de análisis (i). El análisis de las inversiones recientes y la estimación de las inversiones necesarias se ordenan en la curva de oferta de acuerdo a la priorización de obras de infraestructura y el volumen adicional de agua para riego ahorrado.

$$\mathbb{A}_i^O = g(\bar{\mathbb{A}}^O, N_i, I_i, m_i^3, OF_i) \quad (1)$$

donde $\bar{\mathbb{A}}^O$ es el promedio de agua entregada por el sistema durante los años de escasez, N_i es el volumen de nieve, I_i representa las inversiones realizadas en infraestructura con el fin de aumentar la oferta hídrica, m_i^3 son los metros cúbicos *adicionales* o *ahorrados* por la ejecución de las obras, OF_i representan otros factores relevantes pero no contemplados hasta el momento. La inversión en infraestructura y beneficio de la ejecución se interpreta como extensión de la oferta de agua para riego con pendiente positiva en relación al costo asociado.

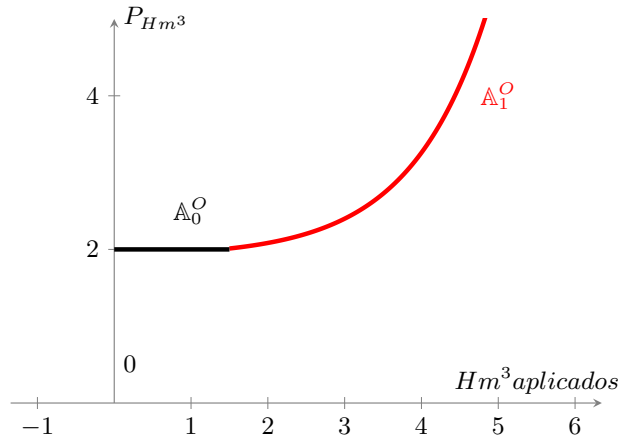


Figure 1: Representación de la oferta de agua \mathbb{A}_i^O

El cálculo de inversión por hectómetro cúbico adicional (Hm^3) se realiza contemplando las estimaciones de necesidades de infraestructura y diseño de obras futuras, cómo así también realizadas en un período de 5 años. Obteniendo un cálculo referencial de costo en dólares por hectómetro cúbico (USD/Hm^3).

Metodología

Considerando las inversiones en infraestructura de riego estrictamente en impermeabilización de canales de los años 2018 y 2019, se preparó una base de datos que incluye los montos de inversión mencionados y datos actualizados del *Balance Hídrico* sobre manejo del recurso y eficiencia en la distribución. La misma permite la estimación del ahorro

de agua por la ejecución de obras de infraestructura acompañando de información monetaria para la valorización económica del recurso. La información tiene dos fuentes principales: una estrictamente referida al estado de la infraestructura existente y otra relacionada con las inversiones realizadas.

El caudal medio (litros/seg/ha) según el balance hídrico se ve mejorado por menores pérdidas en la distribución del agua como consecuencia de la ejecución de obras. Esa mejora o *ahorro de agua* se estima considerando los metros de canal revestido, los porcentajes de pérdida por unidad de manejo y la valoración de la eficiencia en la distribución. La pérdida por infiltración se calcula en base al *Criterio de Moritz*¹, el cual considera las características del terreno, altura del canal y área irrigada para estimar la pérdida en m^3/seg en la longitud del cauce. El ahorro de agua se calcula siguiendo la siguiente fórmula²,

$$\mathbb{A}_i^O = \sum_{j=1}^n \Delta metros \times Q_{m^3/año} \times \Delta pérdida \quad (2)$$

Table 1: Metros revestidos por cuenca

	2017	2018	2019	Total
Atuel	3.230	4.782	2.818	10.830
Diamante	3.777	6.328	1.860	11.965
Malargüe	1.530	695	728	2.953
Mendoza	2.594	1.910	3.468	7.972
Tun. Inferior	5.468	8.707	6.839	21.014
Tun. Superior	2.440	4.000	1.878	8.318

Fuente: Elab. propia

El ahorro de agua del año i (\mathbb{A}_i^O) equivale al caudal adicional por las obras de infraestructura, el mismo es calculado considerando los metros lineales de revestimiento, el caudal promedio mensual por cauce (j) ponderado por la ganancia, en términos de eficiencia en la conducción ($Ef.Cond_j$). Los valores de eficiencia de conducción fueron obtenidos de distintos estudios realizados por el DGI y fueron estimados considerando los volúmenes de caudal, pérdidas por infiltración y características del cauce (Cuneo et al. 2016). En el caso del Río Mendoza, desde 2017 se revistieron 7.972 metros.

¹Pérdida por infiltración se calcula con la siguiente fórmula: $F_{m^3/s/km} = \frac{0.018 \times C \times B \times \sqrt{h}}{\sqrt[4]{\omega}}$, donde C indica el tipo de terreno y adquiere valores entre 0.30 y 0.49. B representa el ancho superficial del canal y h la altura. El área irrigada en m^2 es el valor de ω .

²La estimación de la disminución del agua perdida se realiza considerando las diferencias en la eficiencia de conducción anterior y posterior al relevamiento. Se toma como base los valores de los estudios de aforo y eficiencia en conducción ordenados en la siguiente fórmula: $Pérdida = \frac{Ef.Cond_1 - Ef.Cond_0}{distanciaaforo}$

Table 2: Valores por obra de revestimiento ejecutada

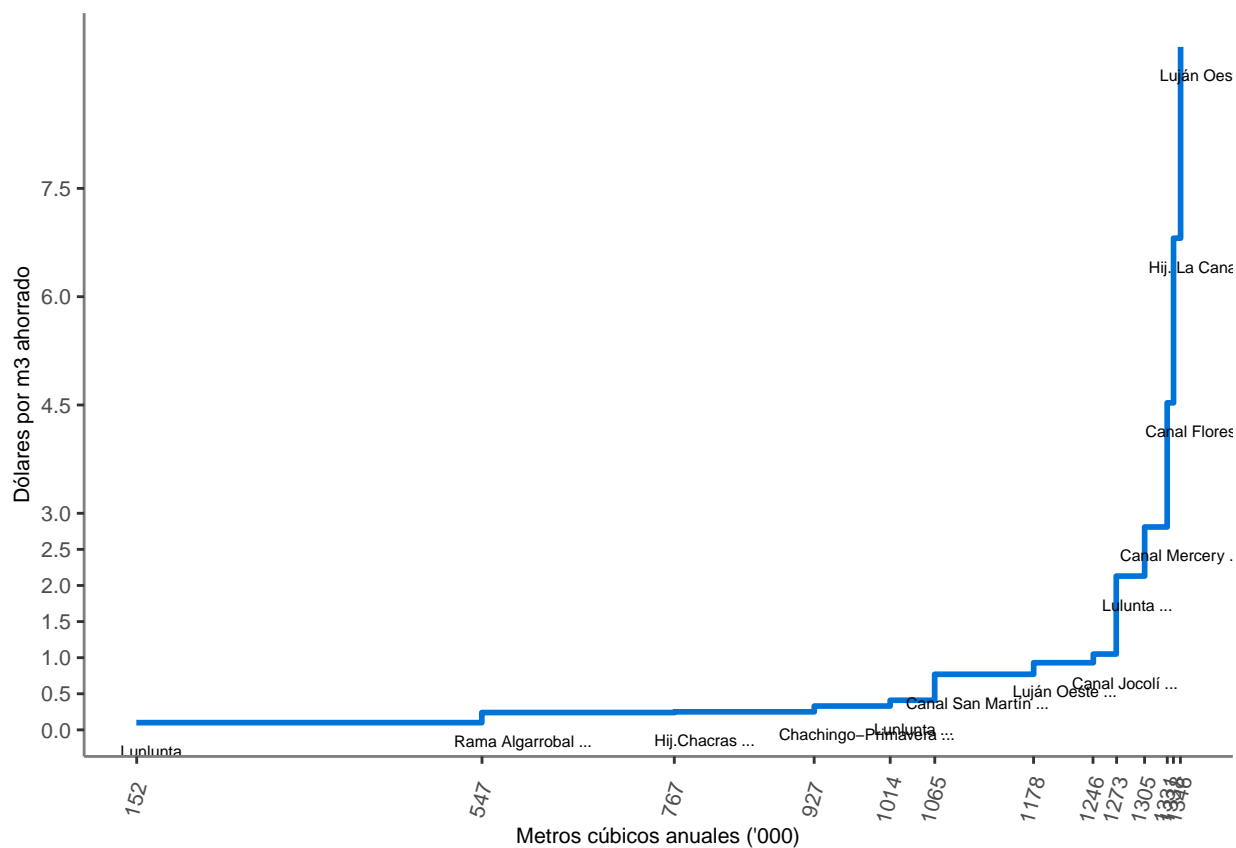
	Cauce	Zona	Metros	Inv. (USD)	Inv. (USD/mt)	Ef.Cond (0)	Ef.Cond. (1)	A (m3/seg)	A (Hm3/Obra)	USD/Hm3
2017										
1	Luján Oeste	Segunda	340	76470.6	224.9	0.809	28.74	0.986	17.8	0.0029249
2	Luján Oeste	Primera	565	105882.4	187.4	0.639	16.32	0.909	150.3	0.0409625
3	Chachingo-Primavera	Tercera	1500	52941.2	35.3	0.857	38.13	0.987	79.9	0.0578173
4	Lunlunta	Segunda	189	35294.1	186.7	0.576	22.71	0.985	344.5	0.0314011
2018										
5	Canal Flores	Segunda	580	116681.9	201.2	0.809	28.74	0.986	33.3	0.0093176
6	Canal San Martín	Sexta	1000	39097.6	39.1	0.758	31.35	0.999	38.2	0.0184151
7	Lunlunta	Segunda	330	14585.2	44.2	0.576	22.71	0.985	344.5	0.0548274
2019										
8	Hij.Chacras	Primera	1100	54794.5	49.8	0.639	16.32	0.909	150.3	0.0797500
9	Hij. La Canada	Primera	700	49543.4	70.8	0.959	8.08	0.993	7.8	0.0026303
10	Lulunta	Tercera	300	55936.1	186.5	0.857	38.13	0.987	65.6	0.0094938
11	Canal Mercery	Tercera	658	91351.1	138.8	0.738	24.96	0.978	37.0	0.0117500
12	Canal Jocolí	Cuarta	310	71690.9	231.3	0.732	39.76	0.998	165.1	0.0246800
13	Rama Algarrobal	Segunda	400	93055.4	232.6	0.679	16.81	0.971	741.0	0.1429429

Fuente: Elab. propia en base a información suministrada por DGI.

Table 3: Valores por obra de revestimiento ejecutada

	Cauce	Zona	Metros	Inv. (USD)	Inv. (USD/mt)	Ef.Cond (0)	Ef.Cond. (1)	A (m3/seg)	A (Hm3/Obra)	USD/Hm3
2017										
1	Luján Oeste	Segunda	340	76470.6	224.9	0.809	28.74	0.986	17.8	0.0029249
2	Luján Oeste	Primera	565	105882.4	187.4	0.639	16.32	0.909	150.3	0.0409625
3	Chachingo-Primavera	Tercera	1500	52941.2	35.3	0.857	38.13	0.987	79.9	0.0578173
4	Lunlunta	Segunda	189	35294.1	186.7	0.576	22.71	0.985	344.5	0.0314011
2018										
5	Canal Flores	Segunda	580	116681.9	201.2	0.809	28.74	0.986	33.3	0.0093176
6	Canal San Martín	Sexta	1000	39097.6	39.1	0.758	31.35	0.999	38.2	0.0184151
7	Lunlunta	Segunda	330	14585.2	44.2	0.576	22.71	0.985	344.5	0.0548274
2019										
8	Hij.Chacras	Primera	1100	54794.5	49.8	0.639	16.32	0.909	150.3	0.0797500
9	Hij. La Canada	Primera	700	49543.4	70.8	0.959	8.08	0.993	7.8	0.0026303
10	Lulunta	Tercera	300	55936.1	186.5	0.857	38.13	0.987	65.6	0.0094938
11	Canal Mercery	Tercera	658	91351.1	138.8	0.738	24.96	0.978	37.0	0.0117500
12	Canal Jocolí	Cuarta	310	71690.9	231.3	0.732	39.76	0.998	165.1	0.0246800
13	Rama Algarrobal	Segunda	400	93055.4	232.6	0.679	16.81	0.971	741.0	0.1429429

Fuente: Elab. propia en base a información suministrada por DGI.



Resumen de obras 2018	Atuel	Diamante	Malargüe	Mendoza	Tunuyán Inf.	Tunuyán Sup.
Inversión						
promedio (desv.std.)	248612.81	86784.22	76022.10	39950.90	94793.18	46494.19
min	21877.8	14607.4	14838.5	14585.2	41021.0	7358.1
max	1087924.0	603477.3	248037.1	116681.9	348576.1	149895.5
Metros revestidos						
promedio	1176.7287	889.8765	695.0000	576.2983	782.5604	696.7441
min	975	300	695	330	210	200
max	1492	3626	695	1000	2365	2060
Inversion/mt						
promedio	362.16499	154.24704	356.90000	70.31948	140.45050	54.88813
min	115.9	91.1	356.9	39.1	79.0	36.8
max	729.2	203.1	356.9	201.2	520.9	72.8

Estimación de demanda de agua para riego

Se propone derivar un esquema integral que permita el análisis de efectos de medidas de política hídrica y económica (Lago and Mysiak 2015; Gruère, Ashley, and Cadilhon 2018). Esto incluye alteraciones en la demanda y oferta del recurso hídrico para riego agrícola por factores endógenos y exógenos. Endógenos o propios de la unidad productiva como por ejemplo: las decisiones productivas como tipo de cultivo, sistema de riego, tecnología existente en la finca. A su vez, se consideran factores exógenos que pueden modificar las necesidades de riego. *e.g.*: contingencias climáticas, política fiscal y/o económica, etc.

La derivación de las curvas de demanda de agua \mathbb{A}_i^D se puede realizar teniendo acceso a los datos específicos de la zona de análisis. Inicialmente, puede derivarse la estimación en base a Riera (2018) realizada para el cultivo de vid en la margen derecha de Luján de Cuyo.

$$\mathbb{A}_i^D = f(Sup_i, C_i, F_i, P_X) \quad (3)$$

Donde Sup_i es la superficie empadronada para riego (ha), C_i es el vector de cultivos en la finca, F_i es la fuente de agua para riego y P_X es el precio de mercado del cultivo. La consideración de características de suelo en términos de salinidad, drenaje y otras opciones será considerada de acuerdo a la disponibilidad de datos. La demanda de agua para riego debe tener una pendiente negativa respecto al precio que paga el productor y es posible que sea inelástica en un segmento determinado. Es decir, que el cultivo requiere un mínimo de agua cualquiera sea el precio para seguir produciendo. Además de la estimación tradicional de la demanda, se pretende estimar la productividad marginal del agua *efectivamente* utilizada (Gómez et al. 2018).

$$\mathbb{AE}_i^D = f(Sup_i^*, C_i, F_i, S_i, P_X, ET_C, T_i) \quad (4)$$

Esta estimación considera, implícitamente, las (d)eficiencias inherentes a la tecnología de riego utilizada en la finca (S_i^*); como así también, las características naturales del suelo y condicionamientos climáticos específicos. ET_C es la evapotranspiración de los cultivos en la finca y T_i es una aproximación del estado del tiempo en el período bajo

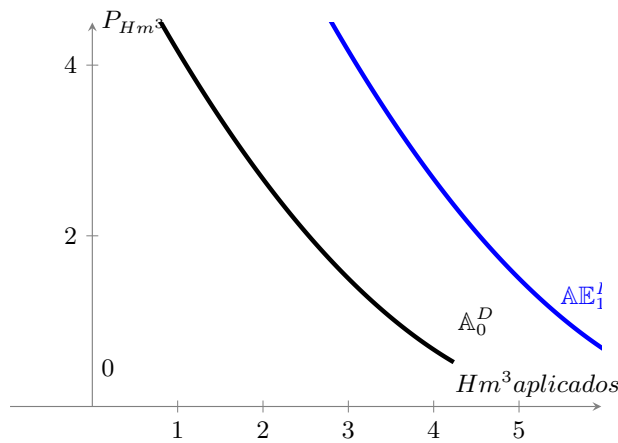


Figure 2: Representación de la demanda de agua y agua efectiva A_0^D y AE_1^I

análisis. Las demandas para riego están sujetas a cambios en la restricción presupuestaria del productor, cambios en el ingreso agrícola o también a *shocks* externos como cambios en la estructura fiscal. En la estimación se busca además considerar los incrementos de demanda por mayor disponibilidad de agua, ya sea por cultivos con mayor requerimiento hídrico o aumento de superficie. Este fenómeno es también conocido como el *paradigma de Jevons* (Alcott 2005) o principio de marginalidad equivalente (Lago and Mysiak 2015).

La eficiencia del riego intra-finca está caracterizada por el *paquete tecnológico* del productor y las herramientas que utiliza para la producción agrícola. En otras palabras, la tecnología disponible en la finca como sistema de riego, sistema de conducción de cultivo y prácticas agrícolas (entre otros) determina la efectividad del agua para riego. Es posible estimar el volumen mínimo de riego de acuerdo a las características de la finca y el uso del mejor paquete tecnológico disponible. A su vez, esta estimación permite calcular el precio correcto (teórico) del agua para riego. El mismo puede ajustarse a valores referenciales de la finca y ajustarse cambios en la disponibilidad del recurso hídrico.

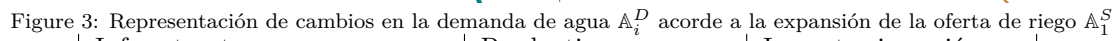
Modelo económico aplicado

El presente es una adaptación de la teoría económica clásica incorporando aspectos técnicos de política económica en el manejo del agua. Se presenta en un gráfico de cuatro (4) cuadrantes. El Primero y el tercero reflejan la tecnología de riego representativa de la explotación agrícola. En el segundo cuadrante se ubica la demanda de agua para riego A_i^D y en el cuarto cuadrante la demanda efectiva de riego o productividad marginal AE_i^D . Cambios o adaptaciones tecnológicas generan efectos en las demandas de riego que, identificándose correctamente, muestra el valor real de la productividad marginal del agua.

PMg_i^{AE} es el producto marginal del agua efectivamente irrigada. Inicialmente, su estimación se realizará en base a la demanda efectiva de agua adaptando los cambios en precios de mercado de los productos agrícolas. Este análisis en conjunto busca mejorar la interpretación del paradigma de eficiencia de riego (Grafton et al. 2018).

Información necesaria

Un detalle completo de la información solicitada se encuentra en el siguiente link. [↗](#)



Infraestructura	Productiva	Impactos inversión
Inversión	Superficie cultivada	Superficie incremental
Volumen de agua	Distribución del agua	Ahorro de agua
Impermeabilización de canales	Tipo de cultivos	Ahorro de energía

Table 4: Información requerida

Esta sección representa otra etapa de la investigación con posterioridad a la determinación del costo marginal y costo de oportunidad del agua para riego. Busca analizar las interacciones entre los agentes de riego y las instituciones que administran el recurso.

Los beneficios por la mejora la calidad ambiental se estiman en dos pasos. En primer lugar, hay una recompensa por mejorar la mejora ambiental provocada por el sistema de riego $\log(1 + \frac{e_i}{s_i} + \gamma_i e_j)$. La razón $\frac{e_i}{s_i}$ emula el beneficio marginal de las mejoras ambientales cuando la calidad ambiental (s_i) se encuentra en un nivel alto. El término $(\gamma_i e_j)$ interpreta la externalidad generada por la mejora ambiental del vecino ($\gamma_i \geq 0$); cuando las mejoras ambientales no estén relacionadas entre las partes $\gamma_i = 0$. Es posible que un agente i sea beneficiado por los esfuerzos generales consumados ($\frac{e_1 + \dots + e_n}{n}$). Luego, los beneficios totales serán

$$\alpha_i \left(\lambda \log \left(1 + \frac{e_i}{s_i} + \gamma_i e_j \right) + \frac{(1-\lambda)e_1 + \dots + e_n}{n} \right) \quad (5)$$

donde $\lambda \in [0, 1]$ revela sobre las combinaciones convexas que relacionan los dos tipos de beneficios y $\alpha_i > 0$ representa una escala de los beneficios en relación a los costos. Por lo tanto, la función de utilidad final es:

$$u_i(e, s; \alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \lambda) = \alpha_i \left(\lambda \log \left(1 + \frac{e_i}{s_i} + \gamma_i e_j \right) + \frac{(1-\lambda)e_1 + \dots + e_n}{n} \right) - \beta_i \left(\frac{e_i^2}{n} + e_i \right) \quad (6)$$

En el caso que $\lambda \approx 1$, el enfoque se aproxima a un análisis costo-beneficio; mientras que, si $\lambda \approx 0$ el enfoque se asimila a la provisión de bienes públicos. Cada agente enfrenta un problema de optimización,

$$\max_{e_i \geq 0} u_i(e, s; \alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \lambda), \quad (7)$$

bajo las condiciones Karush-Kuhn-Tucker para cada sector/agente:

$$\begin{aligned} \alpha_i \left(\frac{\lambda}{s_i \left(1 + \frac{e_i}{s_i} + \gamma_i e_j \right)} + \frac{(1-\lambda)}{2} \right) - \beta_i(1 + e_i) + \kappa_i &= 0 \\ \kappa_i e_i &= 0, \\ \kappa_i &\geq 0, \\ e_i &\geq 0, \end{aligned} \quad (8)$$

Referencias bibliográficas

- Alcott, Blake. 2005. “Jevons’ paradox.” *Ecological Economics* 54 (1): 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>.
- Cuneo, Guillermo, J Ferrer, A Laudadio, N Ortíz, M Roselló, and Juan Gustavo Satlari. 2016. “Eficiencia de conducción en la cuenca del río Mendoza.” 2008. Vol. 8. Mendoza: Departamento General de Irrigación.
- Gómez, Carlos Mario, Carlos Dionisio Pérez-Blanco, David Adamson, and Adam Loch. 2018. “Managing Water Scarcity at a River Basin Scale with Economic Instruments.” *Water Economics and Policy* 04 (01): 1750004. <https://doi.org/10.1142/s2382624x17500047>.
- Grafton, R. Quentin, J. Williams, C. J. Perry, F Molle, C Ringler, P Steduto, B. Udall, et al. 2018. “The paradox of irrigation efficiency.” *Science* 361 (6404): 748–50. <https://doi.org/10.1126/science.aat9314>.
- Gruère, Guillaume, Colette Ashley, and Jean-Joseph Cadilhon. 2018. “Reforming water policies in agriculture. Lessons from past reforms.” OECD Food, Agriculture and Fisheries. Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/1826beee-en>.
- Lago, Manuel, and Jaroslav Mysiak. 2015. *Use of Economic Instruments in Water Policy*. Edited by Manuel Lago, Jaroslav Mysiak, Carlos M. Gómez, Gonzalo Delacámara, and Alexandros Maziotis. Vol. 14. Global Issues in

Water Policy, March. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2>.

Riera, Félix Sebastián. 2018. “Technical and Environmental Efficiency of Grapevine Production in Mendoza, Argentina.” Doctoral thesis, Georg-August-Universität Göttingen. <https://ediss.uni-goettingen.de/handle/11858/00-1735-0000-002E-E52F-6>.