

Avances del proyecto de investigación: propuestas para revisión del Fondo Potrerillos y posibles extensiones

Dr. Sebastián Riera, Dr. Mauricio Pinto, Dra. Flavia Filippini

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; MAGyP 2011). 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 (Gruère and Le Boëdec 2019).

Históricamente los elementos de política económica no han sido aplicados extensivamente en el manejo del recurso hídrico (Gruère, Ashley, and Cadilhon 2018). Lago and Mysiak (2015) afirma que las principales razones son incertidumbre, altos costos de transacción, reformas legislativas y una correcta estimación del impacto de las medidas. 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 (Pittock 2016). 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. Idealmente, desde la perspectiva económica, la valorización del recurso debería reflejar los costos financieros de la infraestructura de riego, los costos ambientales por afectar los ecosistemas y los sociales ante una eventual pérdida de bienestar (Mysiak and Gómez 2015). En particular y con el apoyo del DGI, se pretende desmembrar las inversiones en revestimiento de canales e hijuelas estimando el cambio en el volumen de agua transportado de forma tal que sea posible aproximarse al costo real de aumentar la oferta de agua.

En esta etapa del estudio se procesó la información recibida por el departamento de construcción perteneciente a la Dirección de Ingeniería del DGI sobre las inversiones realizadas en las distintas subdelegaciones de la Provincia. Si bien el financiamiento de las obras de infraestructura proviene de distintas fuentes, las unidades ejecutoras optimizan sus recursos y/o existe una licitación lo que representa una competencia de precios por ejecutar las

obras. Este tipo de enfoque genera información adicional para la toma de decisiones debido a la proximidad de las inversiones al costo marginal real.

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

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 real de aumentar el agua disponible para riego. Los incrementos reales de disponibilidad de agua para riego requiere una inversión en infraestructura cuya valoración se detalla a continuación.

Estimación de la oferta hídrica adicional

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.

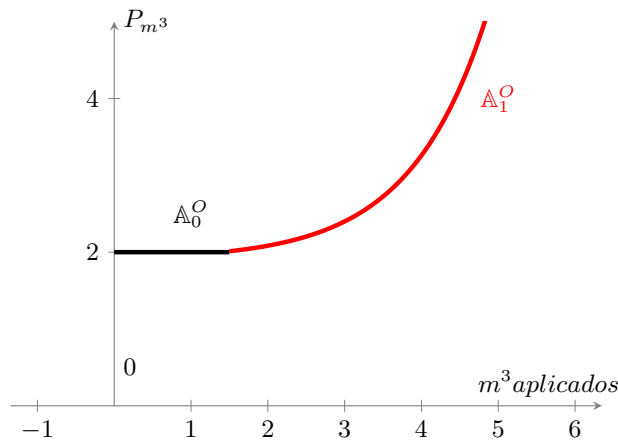


Figure 1: Representación de la oferta de agua \mathbb{A}_i^O

El cálculo de inversión por metro cúbico adicional (m^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 metro cúbico (USD/m^3).

Metodología

Considerando las inversiones en infraestructura de riego estrictamente en revestimiento e impermeabilización de canales de los años 2017-2019, 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 el manejo del recurso (DGI 2016). Respecto a las eficiencias de riego, Bos and Nugteren (1990) aclara que la eficiencia de conducción (EfC), es la eficiencia de las redes de canales y conductos desde la desviación del río, el embalse o estación de bombeo hasta las tomas del sistema de distribución.

Table 1: Metros revestidos por cuenca

	2017	2018	2019	2020	2021	Total
Atuel	3182	3807	2390	9780	7227	26386
Diamante	3530	6328	1860	2110	2968	16796
Malargüe	1000	695	728	1600	1515	5538
Mendoza	3809	1910	3468	2100	13403	24690
Tun. Inferior	6098	9422	7234	4239	6156	33149
Tun. Superior	4040	4000	2728	3492	6128	20388
Total	21659	26162	18408	23321	37397	-

Fuente: Elab. propia en base a DGI (2021)

La eficiencia de distribución (EfD) es la eficiencia de los canales y conductos de distribución de agua que suministran agua desde la red de transporte a campos individuales. Por último, la eficiencia de aplicación (EfA) es la relación entre la dotación de agua en la entrada a la finca campo y la cantidad de agua necesaria y disponible para la evapotranspiración del cultivo, con el fin de evitar el estrés hídrico del cultivo en todo el ciclo de crecimiento (Bos and Nugteren 1990; Morábito 2005). El caudal medio ($m^3/año$) según el balance hídrico se ve mejorado por menores pérdidas en la distribución del agua como consecuencia de la ejecución de obras. Es posible interpretar esta disminución de las pérdidas por infiltración como una mejora en la conducción que posibilita el *ahorro de agua* a estimar considerando los metros de canal revestido, los porcentajes de pérdida por unidad de manejo y la valoración de la eficiencia en la conducción. La información de pérdida por infiltración puede ser calculada en base a mediciones *in situ* como aforos o también a través del *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.

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

$$\mathbb{A}_i^O = \sum_{j=1}^n Q_{m^3/año} \times Superficie \times \Delta metros \times EfC_1 \times \frac{EfC_0}{Extension cauce tierra}$$

$$Eficiencias de Conducción = \frac{EfC_j}{longitud tipo de cauce_j} \quad (3)$$

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 .

El punto de partida tiene dos fuentes principales: una estrictamente referida al estado de la infraestructura existente y otra relacionada con las inversiones realizadas. La primera incluye los relevamientos y estimaciones más actualizadas de condiciones de la red de riego en términos de superficie impermeabilizada y distribución. En particular, se obtuvieron datos de medición de caudales en redes e hijuelas discriminando si se encuentran revestidos; las pérdidas del sistema son estimadas en base a la eficiencia en la conducción de los cauces. La misma permite la estimación de la disminución de la pérdida por infiltración debido a la ejecución de obras de infraestructura acompañando de información monetaria para la valorización económica del recurso. La segunda fuente de información son las inversiones en revestimiento de cauces otorgada por el DGI, donde se discriminaron las obras de revestimiento en las subdelegaciones correspondientes y se asignaron los valores de eficiencia de conducción según la información recibida y, de acuerdo a los códigos de cauce (DGI 2004). Cuando no hay registro de aforo en el cauce revestido, se aplica el valor de EfC de la Unidad de Manejo (UM) estimado.

Mendoza

El ahorro de agua del año i (A_i^O) equivale a la disminución de las pérdidas por infiltración por las obras de infraestructura. El mismo es calculado considerando los metros lineales de revestimiento, el caudal promedio anual por cauce (j) ponderado por el cambio en el volumen perdido. Los valores de eficiencia de conducción (EfC_j) corresponde a información secundaria de relevamientos y aforos realizados por el DGI donde se consideraron 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 13403 metros.

Si bien las curvas de ahorro de agua por menor filtración parecen similares, existe una diferencia en el valor medio entre ambas metodologías. El enfoque de ahorro de agua por diferencias en la eficiencia de conducción, el precio medio por USD/m^3 es 0.909.

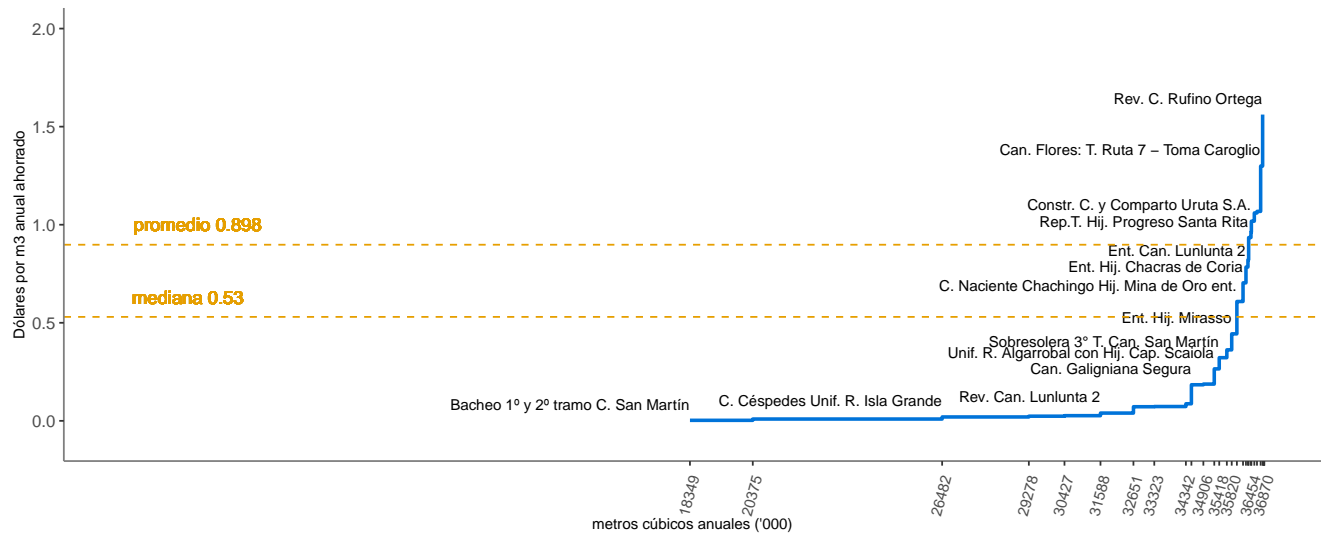


Figure 2: Mendoza - Curva de ahorro

En términos generales el enfoque de eficiencias de conducción es superior ya que discrimina entre los distintos tipos de cauces revestidos (j), asignando el valor de EfC_j según el estudio de Cuneo et al. (2016) para la subdelegación del río Mendoza. Esto permitiría acercarse aún más al valor real del costo marginal de ampliar la oferta de riego. En el caso de no disponer la información específica requerida, se considera el valor de eficiencia

de conducción en canales de tierra calculado para cada unidad de manejo; este cálculo generaliza los valores de EfC_j posiblemente subestimando el desempeño de la unidad de manejo (UM).

En base a los resultados de la estimación, la obra de Bacheo 1º y 2º tramo C. San Martín representa la mayor *disminución de pérdidas* por filtración por dólar invertido desde el 2017. En otras palabras, el menor costo por volumen ahorrado de agua. La realización de esta obra de revestimiento disminuye las pérdidas anuales por filtración en 18349 miles de metros cúbicos (m^3).

Table 2: Río Mendoza - Comparación metodologías

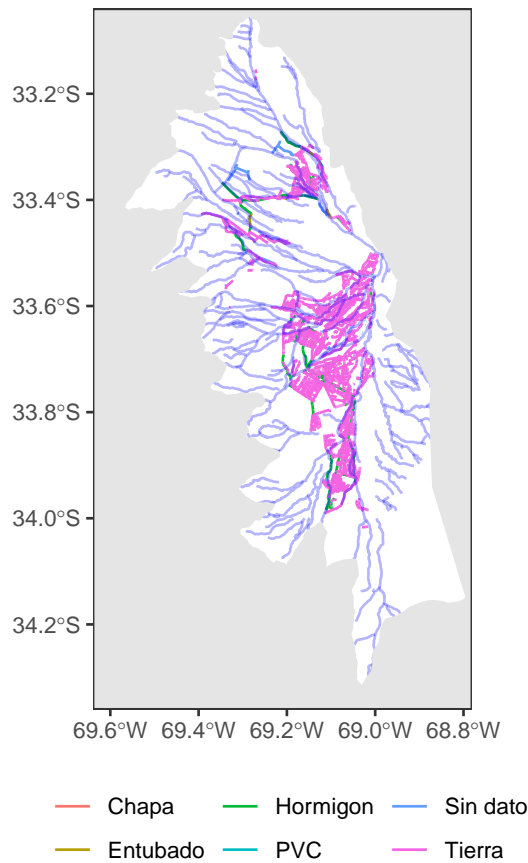
Obra	Zona	Modalidad	Metros	USD/mt	Ganancia	Ahorro	USD/m3
					EfC	m3/km	
2017							
Ent. Hij. Chacras de Coria	Chacras de Coria	Insp.	565	187.4	36.1%	198607.4868	0.70356
Ent. Hij. Mirasso	Cruz de Piedra	Insp.	1500	35.3	20%	157571.6715	0.44352
Imp. Hij. Esteban	Jocolí	Insp.	150	58.8	26.3%	2609.3701	4.46292
Rev. Hij. 2º Vistalba	Lujan	Insp.	340	224.9	17.2%	95280.8726	1.05996
Rev. Can. Lunlunta 2	Margen derecha	Insp.	189	186.7	44.1%	1160116.7941	0.0396
Rep.T. Hij. Progreso Santa Rita	Progreso	Insp.	35	444.6	26.3%	21975.646	0.93456
Imp. Hij. Santa Rita	Santa Rita	Insp.	30	489	26.3%	7179.1273	2.69676
2018							
Sobresolera 3º T. Can. San Martín	Galigniana	Adm.	1000	39.1	23.2%	160208.5104	0.32208
Can. Flores: T. Ruta 7 - Toma Caroglio	Lujan	Adm.	580	201.2	26.2%	118567.9354	1.29888
Rev. 200m Can. Mz. Lunlunta	Margen derecha	Adm.	330	44.2	44.1%	2025600.7515	0.00924
2019							
Unif. R. Algarrobal con Hij. Cap. Scaiola	Algarrobal	Lic.	400	232.6	8.2%	351149.0139	0.265
Rev. Cl Mercery Et. I	Céspedes	Lic.	658	138.8	34.8%	85556.7643	1.068
Ent. Hij. Chacras	Chacras de Coria	Adm.	1100	49.8	36.1%	386669.4434	0.18744
Ent. Hij. La Canada - Can. Primero Vistalba	CompuertasVistalba	Adm.	700	70.8	4.5%	2796097.5445	0.02376
Ent. Can. Lunlunta 2	Cruz de Piedra	Adm.	300	186.5	11.2%	94235.2927	0.78408
Rev. Can. Santa Rita Progreso	Santa Rita	Lic.	310	231.3	26.3%	74558.9838	0.962
2021							
Imp. Hij. Chacras de Coria	Chacras de Coria	Lic.	704	126.1	35.1%	244993.7593	0.362
C. Colonia Unif. Hij. La Ciénega	Colonia Unificado	Lic.	574	135.4	82.1%	18171.3007	4.277
Ent. Hij. 2º La Reta Las Compuertas	CompuertasVistalba	Adm.	300	76.9	4.5%	1149062.8255	0.0264
Can. Galigniana Segura	Cruz de Piedra	Lic.	1600	20.4	10.2%	177324.3943	0.184
C. Naciente Chachingo Hij. Mina de Oro ent.	Cruz de Piedra	Adm.	1500	51.1	10.2%	166241.6197	0.60852
Rev. C. Rufino Ortega	Cruz de Piedra	Adm.	1000	75	10.7%	63343.6058	1.56156
Bacheo 1º y 2º tramo C. San Martín	Galigniana	Adm.	1100	36.3	23.2%	18349344.8509	0.00264
R. Segura. Hij. Segura, R. Day , Hij. Centenario	Jocolí	Lic.	315	206.3	26.3%	25356.6635	2.563
Rev. Hij. Solanilla	Lujan	Lic.	350	151.4	17.2%	64590.1206	0.821
C. Céspedes Unif. R. Isla Grande	Margen derecha	Adm.	1000	90.9	43.6%	6107338.9493	0.0198
Sobresolera 3er TR. C. San Martín	Margen derecha	Lic.	110	446.7	43.6%	671807.2844	0.073
Constr. C. y Comparto Uruta S.A.	Reina	Lic.	30	454.3	23.2%	13389.1602	1.018
Rev. R. Sobremonte	Sobremonte	Lic.	320	239.7	8.9%	1063816.559	0.072
Ent. C. del Oeste.	Sobremonte	Adm.	500	134.7	39.6%	1019215.3428	0.08712

Fuente: Elab. propia en base DGI (2021).

En el río Mendoza la curva de costo marginal alcanzó un valor promedio de 0.935 dólares por cada m^3 en un kilómetro; las inversiones realizadas desde 2017 permiten ahorrar 36,4 hectómetros anuales debido a las inversiones en revestimiento que sumaron 1,12 millones de dólares.

Tunuyán Superior

Aunque la información de obras de infraestructura en esta cuenca está disponible desde el año 1999, las primeras obras registradas de revestimiento fueron desde el año 2000. A diferencia de las otras cuencas, en el Tunuyán Superior se consideraron también tres (3) subsistemas) de riego para el análisis de las obras de revestimiento. El objetivo es lograr un análisis exhaustivo incluyendo las explotación con aguas subterráneas. Por el momento, el análisis se realizó con la información de revestimiento de cauces para la distribución de agua superficial y el precio medio por USD/m^3 es 0.54 y la mediana del precio es 0.4.



22,0 millones de dólares.

En términos generales el enfoque de eficiencias de conducción es superador ya que discrimina entre los distintos tipos de cauces revestidos (j), asignando el valor de EfC_j según el estudio de eficiencias en la conducción para la subdelegación del río Tunuyán Superior. Esto permitiría acercarse aún más al valor real del costo marginal de ampliar la oferta de riego. Por otro lado, el denominado enfoque de pérdidas considera el valor de eficiencia de conducción en canales de tierra calculado para cada unidad de manejo; este cálculo generaliza los valores de EfC_j posiblemente subestimando el desempeño de la unidad de manejo (UM).

$$\text{Eficiencias de Conducción} = \frac{EfC_j}{\text{longitud tipo de cauce}_j}$$

En la cuenca del Tunuyán Superior la curva de costo marginal alcanzó un valor promedio de 0.537 dólares por cada m^3 en un kilómetro; las inversiones realizadas desde 2000 permiten ahorrar 106,6 hectómetros anuales debido a las inversiones en revestimiento que sumaron

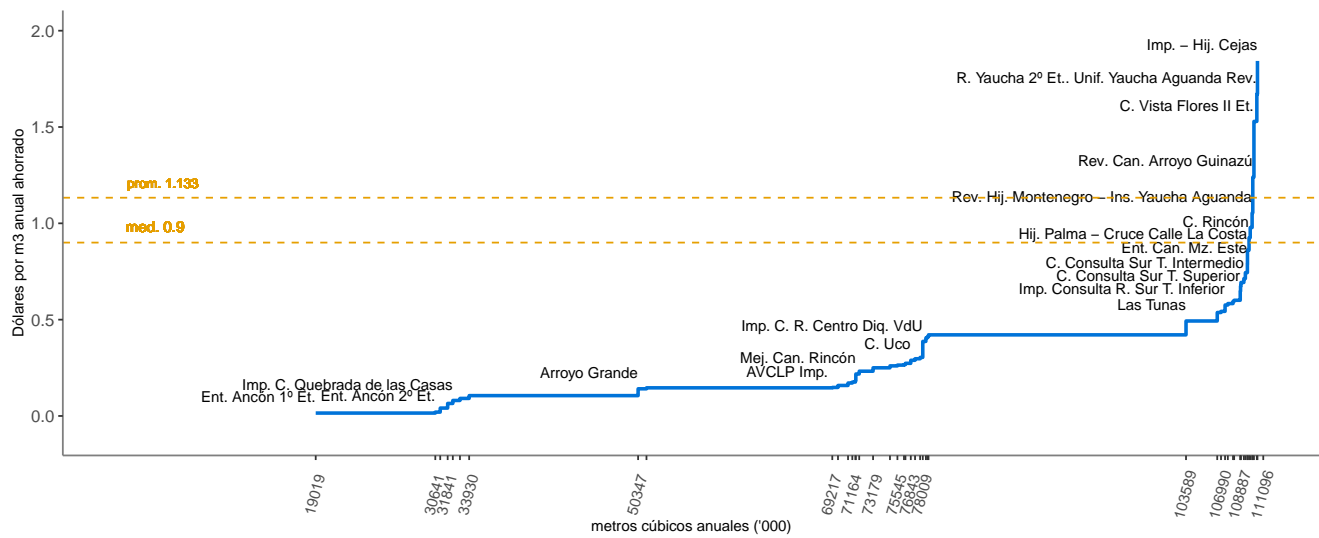


Figure 3: Curva de ahorro de agua enfoque eficiencia de conducción

Table 3: Tunuyán Superior - Valores por obra de revestimiento ejecutada

Año	Obra	Metros	Inv (USD)	Ganancia EfC	A(m3/km)	Inv.(USD/mt)	USD/m3
2000	Ent. Ancón 1º Et.	1800	280000	3%	19018.76	155.6	0.015
	Ent. Ancón 2º Et.	1100	234400	3%	11622.57	213.1	0.020
	Pampa-Ent. de un T.	2063	166909	6%	976.33	80.9	0.171
	C. Uco de un T.	1955	150000	24%	492.70	76.7	0.304
	Imp. Consulta R. Sur T. Inferior	2392	226458	24%	392.84	94.7	0.576
	C. Consulta Sur T. Superior	3600	382524	24%	591.36	106.3	0.647
2001	Ent. Ancón 3º Et.	1191	191000	22%	724.13	160.4	0.264
2003	C. Consulta Sur T. Intermedio	1733	202914	24%	284.67	117.1	0.713
2004	C. Manzano de un T.	3400	426528	19%	1642.07	125.4	0.260
	Unificación Yaucha Aguanda C. Dumas	1309	123236	28%	414.98	94.1	0.297
	C. Consulta de un T.	960	199467	24%	367.07	207.8	0.543
2005	Rev. Hij. Palomares Tupungato	563	73471	NA%	416.51	130.5	0.176
	R. Yaucha 1º Et.. Unif. Yaucha Aguanda Rev.	3155	336347	28%	1344.46	106.6	0.250
	C. Consulta de un T. 2º Et.	1320	300458	24%	504.72	227.6	0.595
2006	Rev. R. Yaucha en Calle Libertad Tres Esquinas	770	108665	29.5%	146.14	141.1	0.744
2007	C. Vista Flores	1275	118975	20%	813.26	93.3	0.146
	C. Vista Flores II Et.	1336	172829	20%	113.02	129.4	1.529
	R. Yaucha 2º Et.. Unif. Yaucha Aguanda Rev.	3085	468708	28%	280.45	151.9	1.671
2008	Arroyo Grande	12148	2308805	19%	16416.78	190.1	0.141
	C. Consulta R. Norte	790	122474	24%	302.07	155.0	0.405
	Las Tunas	33825	12334935	6%	25023.89	364.7	0.493
2013	C. Rincón	691	141439	25%	152.87	204.6	0.925
	Rev. Hij. Montenegro - Ins. Yaucha Aguanda	1031	194208	29.5%	184.20	188.4	1.054
2016	AVCLP Imp.	13673	2666807	4%	18057.04	195.0	0.148
	AVCLP Ent. PVC	8788	1629715	20%	3034.68	185.4	0.537
	AVCLP Ent. PRFV	1632	1629715	20%	563.56	998.6	2.892
2017	Hij. Palma - Cruce Calle La Costa	600	14706	24%	478.12	24.5	0.041
	Imp. Can. Vista Flores	1400	71765	20%	892.99	51.3	0.106
	Unif. y Rev. Hij. Silva- 5001	340	41176	NA%	295.60	121.1	0.183
	Rev. Hij. Las Rosas	600	35988	19.5%	112.95	60.0	0.421
	Rev. Can. Capacho	100	14706	27.5%	28.79	147.1	0.675
	Ent. Can. Mz. Este	1000	117647	3%	197.09	117.6	0.788

Table 3: Tunuyán Superior - Valores por obra de revestimiento ejecutada (*continued*)

Año	Obra	Metros	Inv (USD)	Ganancia EfC	A(m3/km)	Inv.(USD/mt)	USD/m3
2018	Unif. Hij. Simonovich - Nueva Florida	1300	66436	28%	553.98	51.1	0.158
	Mej. Can. Rincón	200	7358	26%	44.67	36.8	0.218
	Rev. Can. Mz. Arroyo Guñazu	440	29170	19.5%	141.09	66.3	0.273
	C. Uco	2060	149895	24%	519.16	72.8	0.289
2019	Rev. Can. Pampa o Salto - R. Norte	518	47945	5.5%	694.56	92.6	0.091
	Rev. Can. Vista Flores	510	58037	21.5%	330.28	113.8	0.232
	C. Arroyo Guñazú (3º T.)	850	118731	18%	268.44	139.7	0.583
	Rev. Can. Arroyo Guinazú	850	61202	19.5%	65.18	72.0	1.239
2020	Rev. Hij. Vargas -C. Vista Flores	1153	46516	21.5%	721.15	40.3	0.065
	Rev. C. Manzano	1300	128571	20.5%	637.46	98.9	0.267
	Hij. Palma - Cruce Calle La Costa	11	5714	24%	8.77	519.5	0.861
	Rev. C. Manzano	1028	110848	20.5%	113.36	107.8	0.978
2021	Imp. C. Quebrada de las Casas	500	30585	4%	501.80	61.2	0.081
	Imp. C. R. Centro Diq. VdU	675	99829	24%	258.09	147.9	0.387
	Rev. Hij. Las Rosas	750	43952	19.5%	141.19	58.6	0.411
	Imp. TR. C. Rincón	500	50262	25%	110.55	100.5	0.601
	Imp. R. de Afuera. Yaucha	200	19626	28%	37.39	98.1	0.693
	Imp. - Hij. Cejas	1500	114626	NA%	62.21	76.4	1.843

Fuente: Elab. propia en base DGI (2021).

Subsistemas en Tunuyán Superior

Como una alternativa para considerar la heterogeneidad del terreno y las fuentes del recurso hídrico se propone comparar esta metodología de valoración para toda la cuenta y los subsistemas propuestos. Los sistemas se organizaron como resultado de entrevistas con expertos y con soporte a la zonificación de las aguas subterráneas en el Tunuyán Superior. La figura 4 presenta los subsistemas: Las Tunas, Arroyo Grande y dique Valle de Uco y Yaucha-Aguanda.

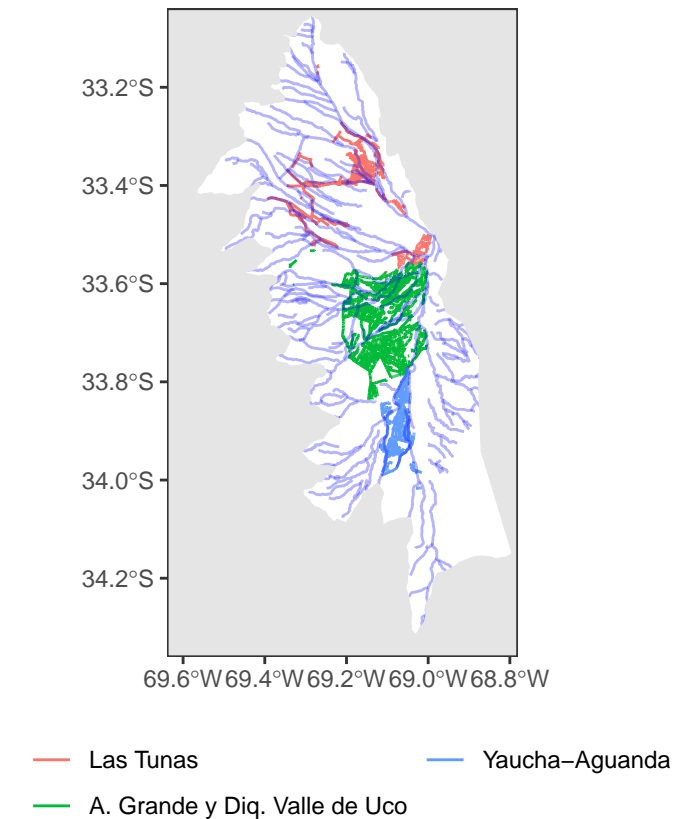
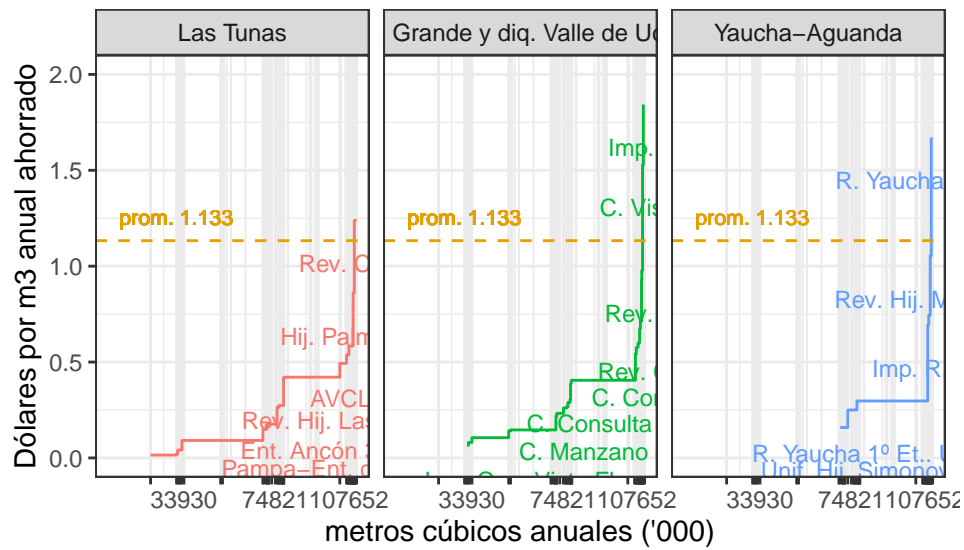


Figure 4: Visualización por subsistemas Tunuyan Superior

El tratamiento y análisis de la información permite analizar las curvas por subsistemas para comparar los ahorros logrados por revestimiento de cauces desde el año 2000 a la fecha. El valor promedio del costo de ahorro de agua por kilómetro para los subsistemas es 0.524 para Las Tunas, 0.508 arroyo Grande y dique Valle de Uco y, por último, 0.695 para el subsistema de Yaucha-Guanda.

Los valores promedio por subcuenca son menores al promedio de la cuenca (0.537) lo que puede ser parcialmente explicado por el hecho que se realizaron obras donde la ganancia en eficiencia de conducción fue relativamente muy cara.



— Las Tunas — A. Grande y diq. Valle de Uco — Yaucha-Aguanda

Figure 5: Costo marginal del agua ahorrada (CMgA) por sub-sistemas en Tunuyán Superior

Tunuyán Inferior

En la cuenca del Tunuyán Inferior la curva de costo marginal alcanzó un valor promedio de 1.51 dólares por cada mil m³ en un kilómetro; las inversiones realizadas desde 1998 permiten ahorrar 27,5 hectómetros anuales debido a las inversiones en revestimiento que sumaron 10,9 millones de dólares.

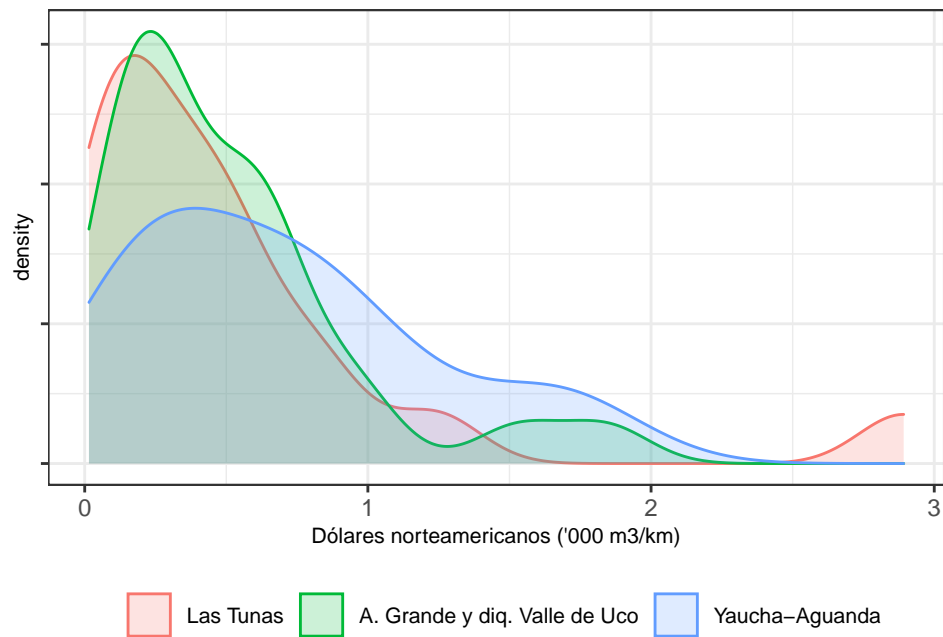


Figure 6: Densidad CMgA por sub-sistemas

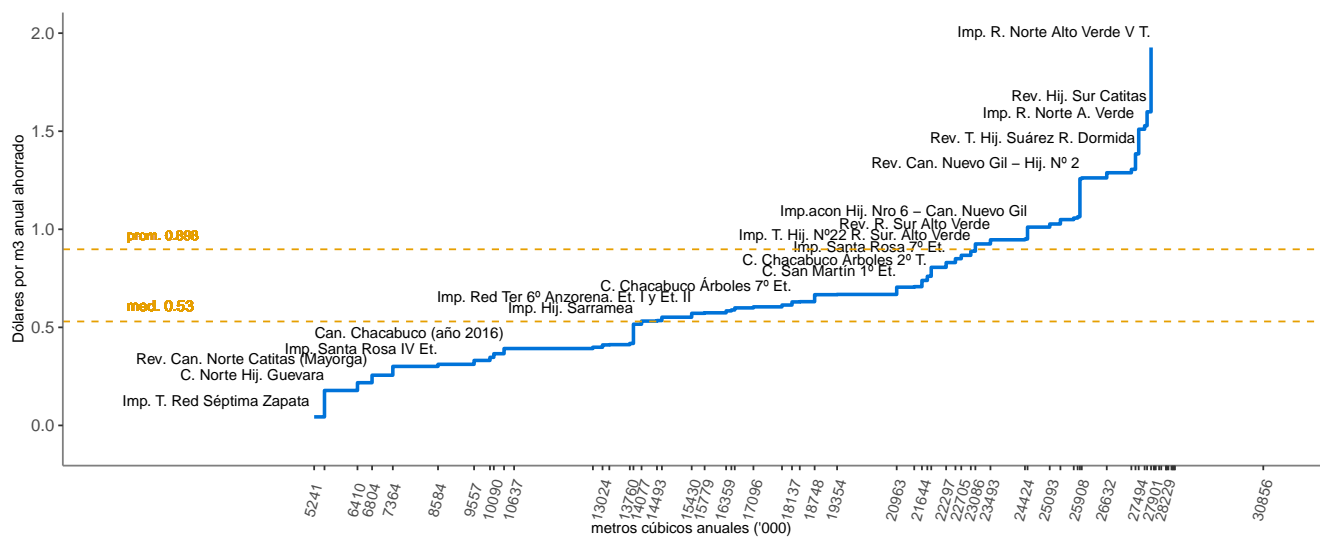


Figure 7: Curva de ahorro de agua - Tun. Inferior

Table 4: Tunuyán Inferior

Año	Obra	Modalidad	Metros	USD/mt	Ganancia EfC (%)	Ahorro	USD/m3
1998	Rev. R. Norte	Lic.	2257	108.1	15	973180	0.331
	Alto Verde Et.I		407	254.3	19	157612	0.867
	Imp. R. Santa Rosa		1980	331.7	19	673166	1.288
	C. Viejo Retamo T. Urbano		500	488.0	15	159652	1.528
	C. Alto Verde R. Sur		780	345.1	20	NA	NA
1999	Rev. R. Chimbas	Lic.	900	253.8	15	287373	1.049
	Imp. R. Sur Alto Verde-T. III		632	250.8	18	NA	NA
	Imp. R. Chimbas-T. III		1165	267.9	25	NA	NA
	C. Chacabuco-Arboles		1000	185.2	18	NA	NA
	Imp. Cl. Cobos-T. 1						
2000	Imp. R. Norte	Lic.	1300	159.0	13	107272	1.927
	Alto Verde V T.		784	205.6	15	250334	0.850
	Imp. R. Sur Alto Verde IV T.		915	188.1	18	91196	2.491
	Imp. Nuevo Gil 1º T.						
2001	Imp. Santa Rosa		1990	179.9	19	770635	0.614
	3º Et.		385	218.2	17	145806	0.760
	C. Chacabuco Árboles 2º T.		295	141.0	22	91540	0.599
	C. Nueva California - Hij. Norte						
2002	C. Norte Hij. Guevara		670	56.2	24	278839	0.178
	Imp. Nuevo Retamo 2º Et.		6257	102.6	19	2127366	0.399
	1º						
	C. San Martín 1º Et.		2674	321.4	27	1608702	0.705
	Rev. T.		270	106.4	19	103818	0.366
	Chacabuco en Calle Falucho						

Table 4: Tunuyán Inferior (*continued*)

Año 2003	Obra	Modalidad	Metros	USD/mt	Ganancia EfC (%)	Ahorro	USD/m3
	Imp. 2º Et. Nuevo Gil		740	164.8	18	73754	2.183
	Ent. Chacabuco		319	270.8	19	123276	0.925
	Imp. R. Costa		800	70.8	18	NA	NA
	Et. I Ent. Hij. del		1600	117.8	20	NA	NA
	Medio R. Nuevo Mundo						
2004	Imp. Santa Rosa		3150	91.2	19	1219849	0.312
	IV Et. Imp. Chacabuco		1132	99.6	17	428707	0.347
	T. Calle Falucho						
	II Et. Rev. R. Norte		965	174.6	15	416091	0.535
	Alto Verde Imp. R. Chimba		1330	175.7	18	NA	NA
2005	Et. IV						
	Imp. 1º Et. Hij.		308	122.7	17	NA	NA
	Sur R. Imp. Santa Rosa		900	168.4	19	348528	0.574
	5º Et. Imp. Nuevo Gil		1271	196.3	18	126678	2.599
	3º Et. Imp. 5º Et.		1209	117.5	25	NA	NA
	Chacabuco						
	Árboles Imp. 1º Et. R.		1155	203.5	18	NA	NA
2006	Mundo Imp. 1º Et.	Lic.	500	163.6	18	NA	NA
	Otoyanes						
	Imp. Santa Rosa	Lic.	1500	226.0	19	580881	0.584
	6º Et. C. Chacabuco		350	158.1	17	132551	0.552
	Árboles 6º Et. R. Norte Alto		2193	305.9	13	931329	0.950
	Verde R. Sur Alto		2082	315.7	15	664608	1.305
	Verde						
	Imp. 5º Et. R. Chimba		1284	197.5	10	473455	0.708

Table 4: Tunuyán Inferior (*continued*)

Año	Obra	Modalidad	Metros	USD/mt	Ganancia EfC (%)	Ahorro	USD/m3
2007	C. Chacabuco		715	180.8	17	270782	0.630
	Árboles 7º Et.						
	Rev. R. Sur Alto Verde		1255	232.2	16	406748	0.946
	Nuevo Gil Imp.		348	185.7	18	34634	2.459
	Hij. N°2 1º						
	Imp. R. Mundo Nuevo T. Calle Isaac Estrella		335	192.6	18	NA	NA
2008	Imp. 2º Et.		175	220.5	18	NA	NA
	Otoyanes						
	Imp. Santa Rosa		1040	243.7	19	402744	0.830
	7º Et.						
	Rev. R. Norte Alto Verde 8º		836	345.6	15	360469	1.057
2010	Et. Area		26193	516.9	17	NA	NA
	Constitución Medrano						
	Rev. T. Hij. Suárez R.		292	398.0	23	110782	1.385
	Dormida						
	Proyecto C. San Martín C. Norte		26263	1174.5	11	2384341	17.077
2013	R. Norte C. La Paz 2º T. 1º Et.		721	305.4	22	NA	NA
	Imp. T. Hij. N°22 R. Sur.		806	214.8	15	257288	0.888
	Alto Verde						
	Imp. T. R.		1605	290.9	22	599740	1.027
	Dormida						
	Imp. Hij. N°2		845	278.6	18	84201	3.691
	Nuevo Gil						
	Imp. T. Chimba		1065	367.0	18	NA	NA
	6º T.						
	Imp. 2º T. San Isidro R. Mundo		910	341.4	18	NA	NA
	Nuevo						
	Imp. VIII Et. Chacabuco		1600	191.6	17	605946	0.668

Table 4: Tunuyán Inferior (*continued*)

Año	Obra	Modalidad	Metros	USD/mt	Ganancia EfC (%)	Ahorro	USD/m3
2014	Imp. R. Costa Et. II		676	218.1	18	NA	NA
2015	Imp. R. Costa Et. III		799	264.3	18	NA	NA
2017	Rev. Can. Norte Alto Verde Can.	Insp.	2065	71.2	15	890393	0.218
	Montecaseros Ent. Hij. 3º Salvador	Insp.	640	68.9	13	NA	NA
	Rev. Can. Norte Catitas (Mayorga)	Insp.	1037	73.7	23	393427	0.256
	Can. Chacabuco (año 2016)	Insp.	730	112.5	17	276463	0.392
	Rev. Can. Nuevo Gil - Hij. N° 2	Insp.	610	96.4	20	61728	1.258
	Rev. Can. Norte Hij. Los Yoles (años 2016)	Insp.	600	147.1	25	219213	0.532
		Insp.	416	106.4	18	NA	NA
	Rev. Can. Norte Alto Verde (tomas 31-33)	Adm.	1300	98.2	15	560538	0.301
	Rev. Hij. Sur Catitas	Lic.	605	174.2	23	65927	1.599
	Imp. Red Ter 6º Anzorena. Et. I y Et. II		2365	147.4	11	804452	0.572
	Rev. Hij. N°2 - Can. Nuevo Gil	Adm.	500	96.7	20	50597	1.262
	Rev. Can. Chacabuco (Et.s 10º y 11º)	Lic.	1310	176.2	19	552274	0.418
	Rev. Can. Norte hasta C.Robert	Adm.	717	111.9	25	270410	0.392
	Rev. C. Chacabuco Et.s 10º y 11º		1310	176.2	19	503712	0.605

Table 4: Tunuyán Inferior (*continued*)

Año	Obra	Modalidad	Metros	USD/mt	Ganancia EfC (%)	Ahorro	USD/m3
2019	Rep. Losas Can.	Adm.	210	520.9	22	57259	2.521
	Mz. La Paz	Adm.	500	107.5	20	NA	NA
	Rev. Can. Los Otoyanes (calle 10-11)						
	Imp. Hij. Sarramea	Adm.	519	73.9	27	98176	0.516
	Imp. R. Moyano	Lic.	857	138.3	19	33833	3.502
	Imp.acon Hij. Nro 6 - Can.	Adm.	700	76.3	18	69767	1.011
	Nuevo Gil	Adm.	508	112.4	24	182802	0.412
	Imp. Can. Norte de Calle						
	Robert-Molina	Lic.	395	213.9	17	104849	0.806
	Rev. T. R.						
	Henriquez	Adm.	2160	79.9	15	5240920	0.044
	Rev. R.						
	Henríquez	Adm.	500	130.1	18	NA	NA
	Imp. T. Red						
	Séptima Zapata	Adm.	1200	102.7	18	NA	NA
	Imp. R. Mundo						
2020	Nuevo - Calle Vergara	Adm.	1059	94.4	13	87385	1.510
	Hij. Los Yoles						
	Imp. R. Norte	Adm.	1059	94.4	13	87385	1.510
	A. Verde	Lic.	705	81.1	22	19836	3.803
	Imp. Hij. Suarez						
	Imp. Hij. N°6	Adm.	350	93.9	18	18309	2.369
	Imp. Santa Rosa	Adm.	790	126.6	19	209369	0.631
	Rev. R. Godoy - Zona El Altillo	Adm.	500	142.9	18	26005	3.626
	R.s De La Paz - Imp. T. III	Adm.	105	129.3	22	5819	3.078
	Imp. Hij. Guevara Can.	Adm.	964	210.1	24	401367	0.667
	Norte finca Scandura	Adm.	655	134.7	22	17601	6.618
	Imp. Hij. Suarez R. Dormida						

Table 4: Tunuyán Inferior (*continued*)

Año	Obra	Modalidad	Metros	USD/mt	Ganancia EfC (%)	Ahorro	USD/m3
2021	Imp. Hij. N°1	Adm.	500	97.3	18	NA	NA
	Imp. R. Norte	Adm.	449	169.0	13	26360	3.800
	A. Verde						
	Imp. R. Moyano	Adm.	730	147.8	19	28820	4.942
	Parte III						
	Rev. C.	Adm.	601	135.0	19	260536	0.411
	Chacabuco Et.						
	XII						
	Imp. C. Santa	Adm.	560	207.7	19	207779	0.739
	Rosa - TR. Villa						
	Imp. R. La Paz	Adm.	400	157.4	22	141246	0.589
	TR. Chacritas						
	Imp. R. Chimba	Lic.	1074	233.0	18	NA	NA
	1° Et.						
	Imp. R. Mundo	Adm.	223	207.6	18	NA	NA
	Nuevo						

Fuente: Elab. propia en base DGI (2021).

Comentarios finales

En un contexto de completa disponibilidad de la información y competencia perfecta entre las empresas e instituciones que ejecutan las obras de infraestructura, la estimación de la curva de oferta adicional equivale a la curva de *Costo Marginal* (CMg) de ahorro de agua por disminución de las pérdidas por infiltración. Este enfoque considera únicamente el concepto de eficiencia de conducción (EfC) para la estimación de la curva. Tal como fue mencionado anteriormente, el concepto global de eficiencia en el manejo del recurso hídrico debe incluir las estimaciones de eficiencia en la distribución (EfD) y eficiencia en la aplicación (EfA). La información aquí presentada puede ser considerada como soporte para las decisiones de inversiones en revestimiento de cauces pero no correspondería comparar inversiones que apunten a la mejora de conceptos distintos de eficiencia.

Se consideraron inversiones en revestimiento para las tres cuencas desde 1997, con excepción al río Mendoza cuya información está disponible desde 2017, el volumen de agua ahorrado por menores pérdidas equivale a 170,5 hectómetros anuales (Hm^3). En el río Mendoza los ahorros estimados suman 36,4 hectómetros anuales, en la cuenca del Tunuyán Superior 106,6 hectómetros y en el Tunuyán Inferior 27,5 hectómetros. Estas estimaciones evidencian la importancia de ejecutar obras de infraestructura que contribuyan al manejo del sistema de riego provincial.

Es decir que, en esta etapa de análisis no es conveniente relegar inversiones que apunten a mejorar la eficiencia en distribución por obras de revestimiento debido a que no hemos alcanzado el desarrollo de una metodología de valoración de las inversiones inclusiva para los tres conceptos de eficiencia. Es deseable continuar la investigación y evaluación de obras de revestimiento en otras subdelegaciones para profundizar el conocimiento del costo marginal del ahorro de agua por eficiencia de conducción. El trabajo realizado durante el 2019 permitió el esclarecimiento de una metodología de trabajo que brindará resultados con mayor celeridad.

Modelo integral

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.

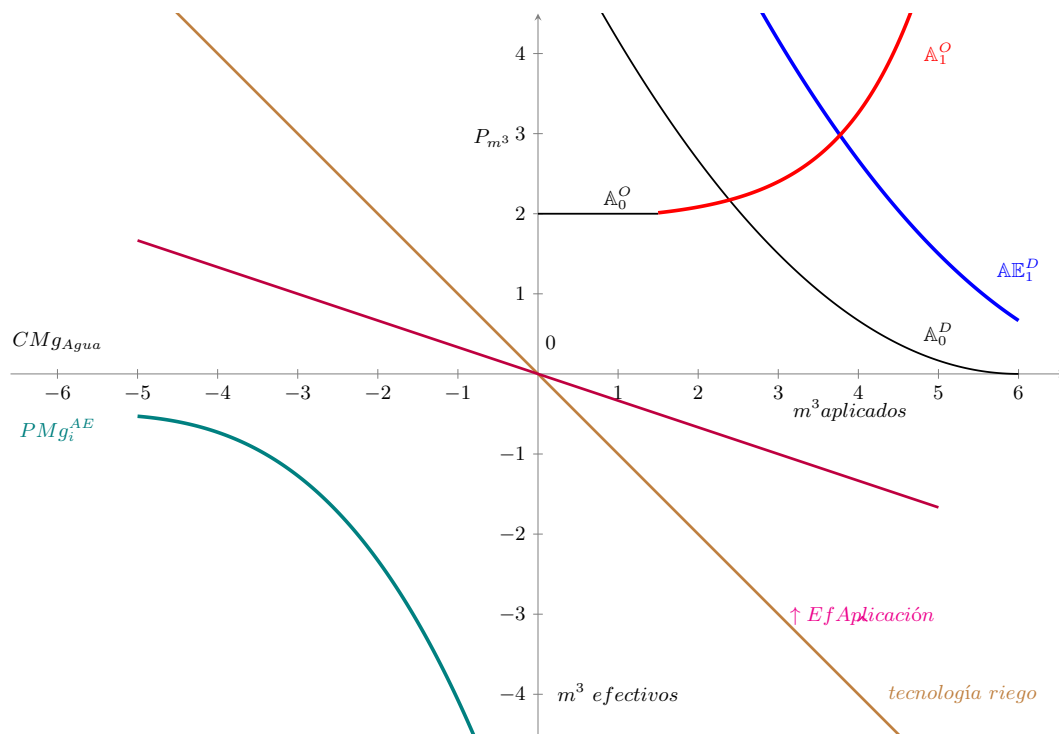


Figure 8: Representación de cambios en la demanda de agua A_i^D acorde a la expansión de la oferta de riego A_1^S

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.

Referencias bibliográficas

- Bos, M. G., and J. Nugteren. 1990. *On irrigation efficiencies*. 4th ed. Wageningen: International Institute for Land Reclamation; Improvement (ILRI).
- Cuneo, Guillermo, J Ferrer, A Laudadio, N Ortiz, M Roselló, and Juan Gustavo Satlari. 2016. “Eficiencia de conducción en la cuenca del río Mendoza.” 2008. Vol. 8. Mendoza: Departamento General de Irrigación.
- DGI. 2004. “Compilación de Códigos de aplicación en el Departamento General de Irrigación.” Mendoza, Argentina: Departamento General de Irrigación.
- . 2016. “Balance Hídrico. Río Mendoza.” Mendoza, Argentina: 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>.
- Grùère, 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.

- Gruère, Guillaume, and Hélène Le Boëdec. 2019. “Navigating pathways to reform water policies in agriculture.” OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/906cea2b-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>.
- MAGyP. 2011. “Balance hídrico como herramienta de decisión.” In *Herramientas Para La Evaluación y Gestión Del Riesgo Climático En El Sector Agropecuario*, 1st ed., 55–63. Buenos Aires, Argentina: MAGyP.
- Morábito, José Antonio. 2005. “Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza Eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento agrícola en un marco sustentable.” Master Thesis, Universidad Nacional de Cuyo. http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/4137/morabito.pdf.
- Mysiak, Jaroslav, and Carlos M. Gómez. 2015. “Water Pricing and Taxes: An Introduction.” In *Use of Economic Instruments in Water Policy: Insights from International Experience*, 15–20. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2_2.
- Pittock, Jamie. 2016. “The Murray–Darling Basin: Climate Change, Infrastructure, and Water.” In *Increasing Resilience to Climate Variability and Change*, edited by Cecilia Tortajada, 1st ed., 41–59. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1914-2_3.