

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

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

Resumen ejecutivo

- Las obras de infraestructura de impermeabilización de canales se traducen a una disminución en las pérdidas por filtración en el trazado del sistema hídrico provincial.
- Se postulan dos enfoques de valorización del incremento en la eficiencia de conducción en cada cauce (EfC_i): eficiencia de conducción por kilómetro de la unidad de manejo (enfoque de pérdidas) y ganancia relativa de la eficiencia con respecto al estado de infraestructura (diferencias en eficiencia de conducción). El primero es más abarcativo por la información requerida pero menos detallista. El último es más exacto pero requiere información específica del aforo de los cauces.
- Río Mendoza (2017-2020): el precio medio por USD/m^3 0.857 es similar en ambos enfoques . El valor que se obtiene con mayor frecuencia es USD/m^3 1.
- Río Tunuyán Superior (2000-2020): el precio medio por USD/m^3 0.952 y el valor con mayor frecuencia es USD/m^3 1
 - Se avanza en el cálculo para toda la cuenca pero discriminando en cuatro (4) subsistemas:
 - * Las Tunas
 - * Arroyo Grande
 - * Dique Valle de Uco
 - * Yaucha-Aguanda
- Río Tunuyán Inferior (2017-2020): el precio medio por USD/m^3 0.5517
- Ganancia en eficiencia de conducción varía entre 10-22% en las cuencas según los análisis actuales. Será importante revisar y ajustar los valores de caudales y eficiencias para concluir el trabajo desde la perspectiva económica

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.

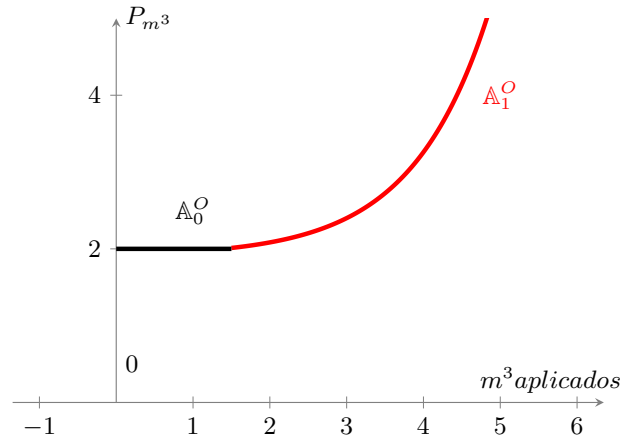


Figure 1: Representación de la oferta de agua \mathbb{A}_i^O

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).

Table 1: Condiciones sistema de riego (km)

Subdelegacion	Tierra	Hormigon	Entubado	PVC	Chapa	Sin dato	Total	% total
Atuel	2.362	75,2	0,030	3,72	0,0200	207	2.648	29,1%
Diamante	2.378	189,3	0,030	8,08	0,3100	155	2.730	30,0%
Malargüe	118	2,1	0,000	0,00	0,0000	0	120	1,3%
Mendoza	383	75,1	0,140	0,00	0,0000	0	458	5,0%
Tun. Inferior	328	59,5	1,560	0,00	0,0000	2.386	2.775	30,5%
Tun.Superior	291	48,0	3,200	0,01	0,0900	32	374	4,1%
Total	5.860	449,2	4,960	11,80	0,4300	2.780	9.107	100,0%
% total	64%	4,9%	0,054%	0,13%	0,0047%	31%	100%	-

Fuente: Elab. propia en base a DGI (2018, 2020).

La información disponible en el servidor de mapas IDE (DGI 2018) indica que el sistema de riego relevado de la provincia asciende a 9.106 km. Dentro del sistema de conducción, la mayor proporción del total relevado corresponde a trazado sobre tierra (64.4 %). Seguido por datos que resta validar (30.5 %) y hormigón (4.9 %) Los valores que se exponen en la tabla fueron obtenidos del servidor de mapas IDE (DGI 2018) y procesados de acuerdo a las características disponibles.

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 2: Metros revestidos por cuenca

	2017	2018	2019	2020	Total
Atuel	3.230	3.807	2.818	9.780	19.635
Diamante	3.777	6.328	1.860	2.110	14.075
Malargüe	2.530	695	728	1.600	5.553
Mendoza	3.809	1.910	3.468	2.100	11.287
Tun. Inferior	6.108	5.142	6.839	4.239	22.328
Tun. Superior	5.540	4.000	1.878	2.464	13.882

Fuente: Elab. propia en base a DGI (2020)

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

Table 3: Resumen de obras 2017-2020 (USD)

	Atuel	Diamante	Malargüe	Mendoza	Tun. Inferior	Tun. Superior
Inversión						
prom.(d.s.)	33,807 ± 6	41,854 ± 4	102,312 ± 2	47,012 ± 2	169,648 ± 4	145,234 ± 4
min	1714	1723	27589	8824	13571	5714
max	1087924	603477	248037	190000	30846544	12334935
Metros rev.						
promedio	592.9 ± 3.9	433.8 ± 3.0	471.4 ± 4.1	398.8 ± 3.1	946.4 ± 2.6	1,203.1 ± 3.5
min	10	30	30	30	105	11
max	4000	3626	1600	2100	26263	33825
USD/mt						
promedio	57.0 ± 6.1	96.5 ± 2.3	217.0 ± 2.8	117.9 ± 2.3	179.2 ± 1.8	120.7 ± 1.9
min	1.9	7.3	51.8	35.3	56.2	24.5
max	729.2	262.6	919.6	489	1174.5	998.6

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 m³/seg en la longitud del cauce. El ahorro de agua se calcula siguiendo la siguiente fórmula²,

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

El punto de partida de análisis se sustenta en dos pilares de información: el estado de la infraestructura y 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 la distribución del recurso. 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. 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. La vinculación de los datos se realizó utilizando los códigos de cauce (DGI 2004). Cuando no hay registro de aforo en el cauce revestido, se reemplaza el valor de EfC por el correspondiente al estimado para la Unidad de Manejo (UM).

Subdelegación Mendoza

El ahorro de agua del año i (\mathbb{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

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 m² es el valor de ω .

²La estimación de la disminución del agua pérdida 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: $\Delta Pérdida = \frac{EfC_1 - EfC_0}{distancia\ media}$

Table 4: Mendoza - Caudal por obra información disponible (m³/s)

Código	Obra	Utilizado	Diseño	Web	GananciaEfC
1116	Rev. C. Lunlunta 2	1.038	-	0.266	8.7%
1012	Ent. Hij. Chacras de Coria	0.435	-	1.501	36.1%
1271	Hij. Progreso Santa Rita Rep. tramo	0.801	4.25	1.378	26.3%
1271	Hij. Santa Rita Imp. 30m y adaptaciones	0.801	2.85	1.378	26.3%
1278	Imp. Hij. Esteban	0.13	-	0.372	26.3%
1010	Rev. Hij. 2° Vistalba	0.14	3.7	0.43	35.6%
1116	Rev. C. Lunlunta 2	0.22	-	0.266	10.7%
1714	Ent. Hij. Mirasso	-	0.6	0.177	NA%
1812	Rev. C. San Alberto	-	-	-	NA%
1116	Rev. 200M C. Matriz Lunlunta	1.038	-	0.266	8.7%
1116	Rev. 200M C. Matriz Lunlunta	0.22	-	0.266	10.7%
1142	Sobresolera 3° Tramo C. San Martín	0.202	-	1.761	10.2%
1008	C. Flores: Tramo Ruta 7 - Caroglio	0.41	-	0.336	26.2%
1116	Ent. C. Lunlunta 2	1.038	-	0.266	9.2%
1106	Ent. Hij. La Canada - C. Primero Vistalba	0.177	-	2.581	4.5%
1012	Ent. Hij. Chacras	0.435	-	1.501	36.1%
1271	Rev. C. Santa Rita Progreso	0.801	-	1.378	26.3%
1191	Rev. Cl Mercery Etapa I	0.25	-	0.252	34.8%
1116	Ent. C. Lunlunta 2	0.22	-	0.266	11.2%
1299	Unif. R. Algarrobal e Hij. Manantial Scaiola	0.13	-	0.132	47%
1846	Ent. Aroyo Morteritos	-	-	-	NA%

Fuente: Elaboración propia en base a DGI (2015), Datos abiertos (2019) y entrevistas (2020).

volumenes de caudal, pérdidas por infiltración y características del cauce (Cuneo et al. 2016). En el caso del Río Mendoza, desde 2017 se revistieron 11.287 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 0.9; mientras que el precio medio en el enfoque de pérdidas asciende a 0.9. Esta diferencia se explica porque el enfoque de eficiencias de conducción discrimina (dentro de los cauces de tierra) entre canales e hijuelas.

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 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. 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).

$$\text{Eficiencias de Conducción} = \frac{EfC_j}{\text{longitud tipo de cauce}_j} \quad \text{pérdida} = \frac{EfC_{tierra}}{\text{longitud cauces de tierra}}$$

En base a los resultados de la estimación realizada Mat. Lunlunta representa la mayor *disminución de pérdidas* por filtración por dólar invertido desde el 2017. Según los cálculos realizados, la realización de esta obra de revestimiento disminuye las pérdidas anuales por filtración en 27 miles de metros cúbicos (m^3).

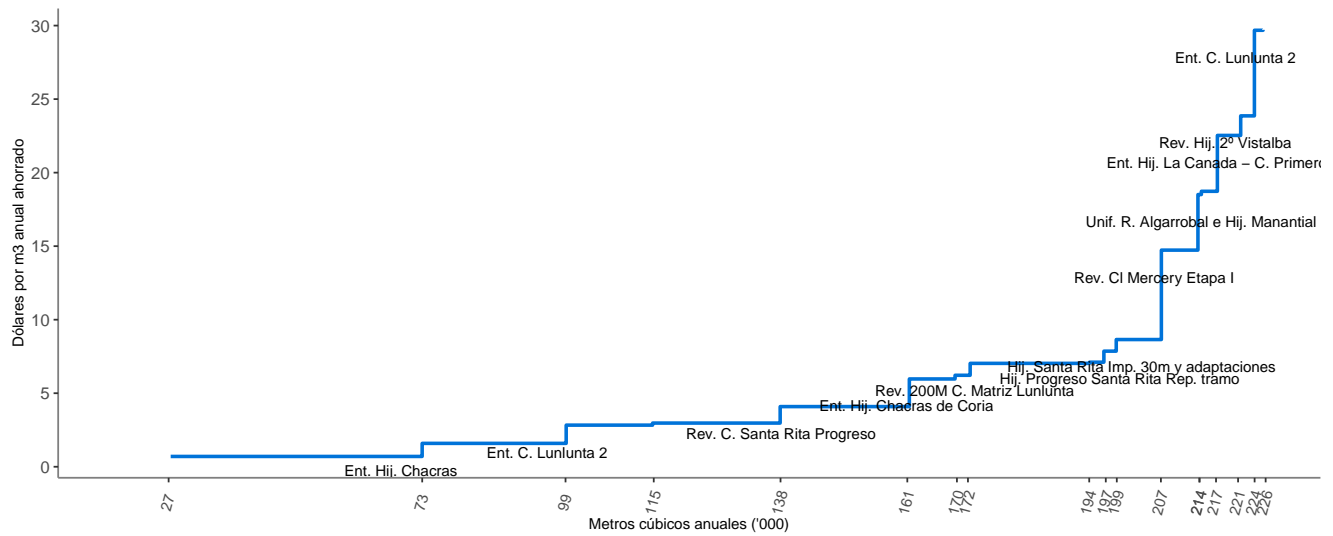


Figure 2: Curva de ahorro de agua enfoque eficiencia de conducción

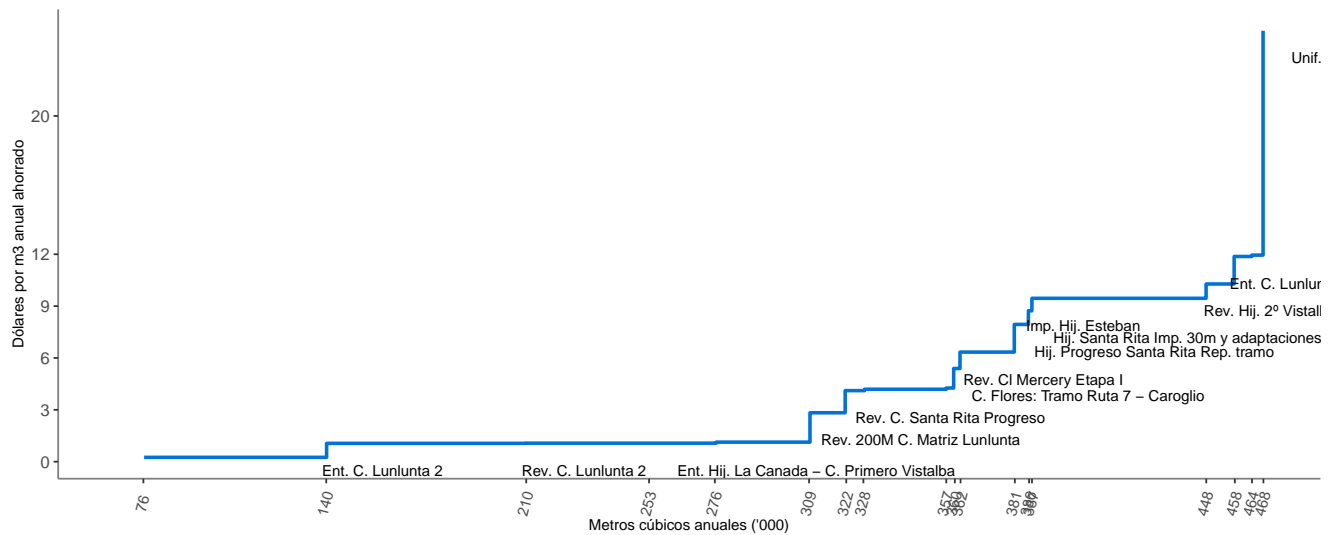


Figure 3: Curva de ahorro de agua enfoque pérdidas

Table 5: Río Mendoza - Comparación metodologías

Obra	Zona	Modalidad	Metros	USD/mt	Ef.Conducción		Ahorro m3/km		USD/m3		USD/m3 (ajuste)	
					ex-ante	ex-post	Delta pérdida	Delta EfC	Pérdida	EfC	Pérdida	EfC
2017												
Rev. C. Lunlunta 2	Segunda	Insp.	189	35294	5	0.3	0.9	43674	0	15676	0.8	2.3
Ent. Hij. Chacras de Coria	Primera	Insp.	565	105882	20	1.5	0.6	32804	0	23432	3.2	4.5
Hij. Progreso Santa Rita Rep. tramo	Cuarta	Insp.	35	15561	12	1.4	0.7	2587	0	2613	6.0	6.0
Hij. Santa Rita Imp. 30m y adaptaciones	Cuarta	Insp.	30	14669	12	1.4	0.7	2217	0	2239	6.6	6.6
Imp. Hij. Esteban	Cuarta	Insp.	150	8824	10	0.4	0.7	1232	0	622	7.2	14.2
Rev. Hij. 2º Vistalba	Primera	Insp.	340	76471	24	0.4	0.6	9821	0	4230	7.8	18.1
Rev. C. Lunlunta 2	Tercera	Insp.	189	35294	5	0.3	0.9	3900	0	1568	9.1	22.5
2018												
Rev. C. San Alberto	NA	Insp.	1000	35294	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rev. 200M C. Matriz Lunlunta	Segunda	Adm.	330	14585	5	0.3	0.9	76257	0	27372	0.2	0.5
Rev. 200M C. Matriz Lunlunta	Tercera	Adm.	330	14585	5	0.3	0.9	6809	0	2737	2.1	5.3
2019												
Sobresolera 3º Tramo C. San Martín	Tercera	Adm.	1000	39098	53	1.8	0.9	12317	0	8294	3.2	4.7
C. Flores: Tramo Ruta 7 - Caroglio	Segunda	Adm.	580	116682	7	0.3	0.7	28576	0	21648	4.1	5.4
Ent. C. Lunlunta 2	Segunda	Adm.	300	55936	5	0.3	0.9	69673	0	26127	0.8	2.1
Ent. Hij. La Canada - C. Primero Vistalba	Primera	Adm.	700	49543	67	2.6	1.0	60964	0	2903	0.8	17.1
Ent. Hij. Chacras	Primera	Adm.	1100	54794	20	1.5	0.6	63867	0	45619	0.9	1.2
Rev. C. Santa Rita Progreso	Cuarta	Lic.	310	71691	12	1.4	0.7	23026	0	23141	3.1	3.1
2020												
Rev. Cl Mercery Etapa I	Tercera	Lic.	658	91351	6	0.3	0.6	19006	0	8187	4.8	11.2
Ent. C. Lunlunta 2	Tercera	Adm.	300	55936	5	0.3	0.9	6221	0	2488	9.0	22.5
Unif. R. Algarrobal e Hij. Manantial Scaiola	Segunda	Lic.	400	93055	3	0.1	0.5	4927	0	6636	18.9	14.0
Ent. Aroyo Morteritos	NA	Lic.	2100	190000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elab. propia en base DGI (2020).

Subdelegación Tunuyán Superior

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 pérdidas en la eficiencia de conducción, el precio medio por USD/ m^3 es 1.8 y el precio con mayor frecuencia (mediana) es USD 0.9 por m^3 de agua ahorrada.

Si bien el enfoque de eficiencias de conducción es más atractivo para el análisis aplicado, la información disponible de libre acceso no garantiza el cálculo correcto. Debido a la necesidad de discriminar 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. Por otro lado, el denominado enfoque de pérdidas considera el valor de eficiencia de conducción por kilómetro calculado para cada unidad de manejo; este cálculo generaliza los valores de EfC_j promediando las condiciones de infraestructura en la unidad de manejo (UM).

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

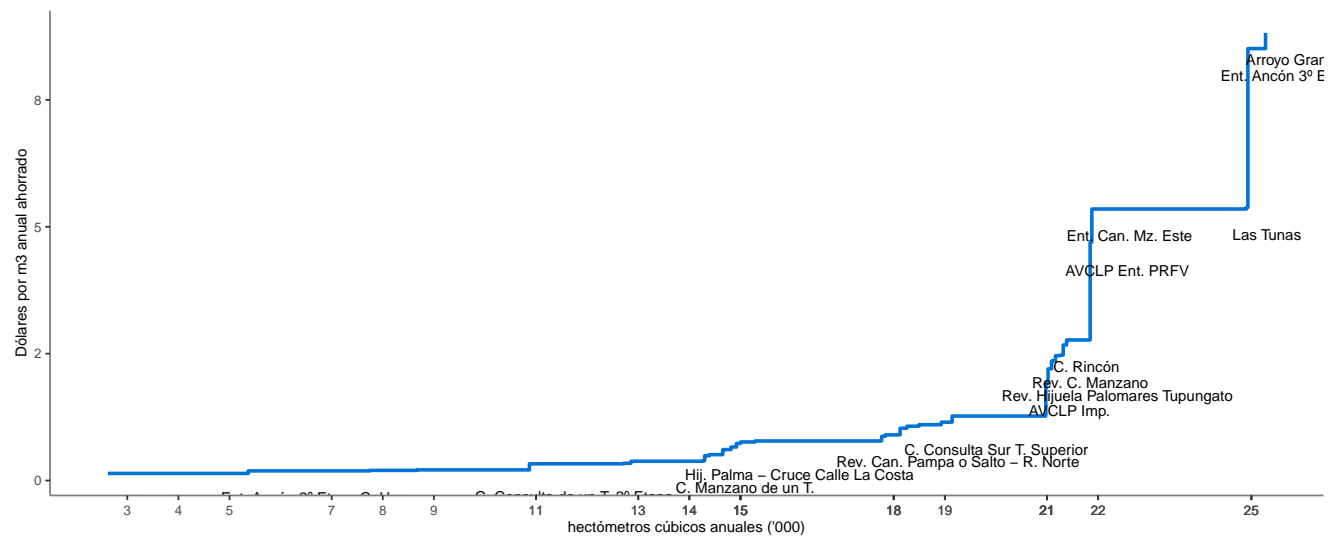
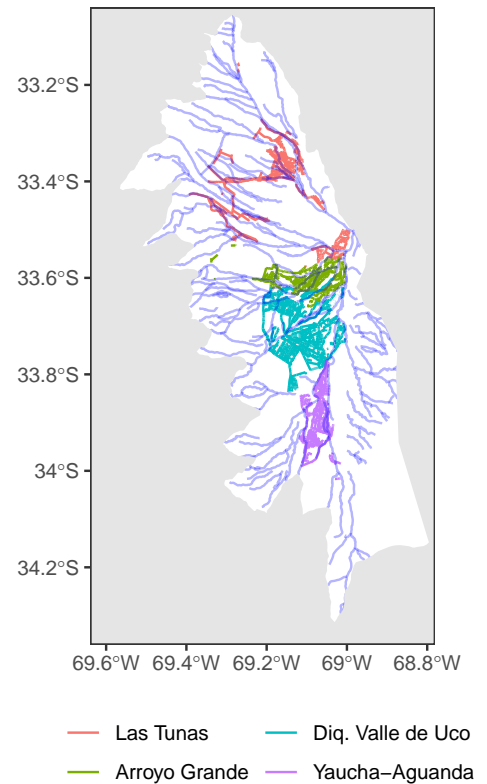


Figure 4: Curva de ahorro de agua enfoque eficiencia de conducción

Table 6: Tunuyán Superior - Caudal promedio por obra información disponible (m3/s)

Código	Obra	Informe.EfC	Web	Bal.2015	Utilizado	GananciaEfC
5008	C. Uco de un T.	0.05	0.89	-	0.89	19%
5022	Imp. Consulta Rama Sur T. Inferior	0.04	0.21	-	0.21	24%
5022	C. Consulta Sur T. Superior	0.04	0.21	-	0.21	24%
9710	Ent. Ancón 1º Etapa	0.78	0.06	3.45	0.78	2%
9710	Ent. Ancón 2º Etapa	0.78	0.06	3.45	0.78	2%
9727	Pampa-Ent. de un T.	-	0	5.26	0.55	6%
9713	Ent. Ancón 3º Etapa	0.28	0.27	3.45	0.28	22%
5022	C. Consulta Sur T. Intermedio	0.04	0.21	-	0.21	24%
5001	C. Manzano de un T.	0.1	0.69	16.16	0.69	12%
5010	C. Consulta de un T.	0.09	2.18	-	2.18	10%
5773	Unificación Yaucha Aguanda C. Dumas	-	0.27	-	0.27	-1%
5010	C. Consulta de un T. 2º Etapa	0.09	2.18	-	2.18	10%
5700	Rama Yaucha 1º Etapa. Unif. Yaucha Aguanda Rev.	-	-	29.56	-	24%
9715	Rev. Hijueta Palomares Tupungato	-	0.5	7.2	0.65	2.5%
5701	Rev. Rama Yaucha en Calle Libertad Tres Esquinas	0.57	-	-	5.7	29.5%
5006	C. Vista Flores	0.12	0.74	32.21	0.74	10%
5007	C. Vista Flores II Etapa	-	0.21	-	1.38	20%
5774	Rama Yaucha 2º Etapa. Unif. Yaucha Aguanda Rev.	-	0.07	-	1.27	25%
5010	C. Consulta Rama Norte	0.09	2.18	-	2.18	10%
5738	Arroyo Grande	-	0.01	31.78	0.05	17%
9708	Las Tunas	-	0.26	11.74	0.78	6%
5014	C. Rincón	-	0.9	-	0.9	25%
5708	Rev. Hij. Montenegro - Ins. Yaucha Aguanda	0.44	0.16	-	0.44	3.5%
5772	AVCLP Ent. PVC	0.31	-	9.08	0.75	18%
5772	AVCLP Ent. PRFV	0.31	-	9.08	0.75	18%
9727	AVCLP Imp.	-	0	5.26	0.55	4%
5001	Unif. y Rev. Hij. Silva- 5001	-	0.69	16.16	0.69	13.5%
5006	Imp. Can. Vista Flores	0.12	0.74	32.21	0.74	10%
5012	Rev. Can. Capacho	0.22	0.22	-	0.22	27.5%
9705	Hij. Palma - Cruce Calle La Costa	0.33	0.02	-	0.33	24%
9707	Ent. Can. Mz. Este	-	0.96	24.45	0.96	3%
9776	Rev. Hij. Las Rosas	0	0.04	12.57	1	19.5%
5008	C. Uco	0.05	0.89	-	0.89	19%
5014	Mej. Can. Rincón	-	0.9	-	0.9	26%
5700	Unif. Hij. Simonovich - Nueva Florida	-	-	29.56	-	24%
9774	Rev. Can. Mz. Arroyo Guinazu	-	0.01	12.57	0.24	19.5%
5006	Rev. Can. Vista Flores	0.12	0.74	32.21	0.74	11.5%
9727	Rev. Can. Pampa o Salto - R. Norte	-	0	5.26	0.55	5.5%
9776	Rev. Can. Arroyo Guinazú	-	0.04	12.57	1	19.5%
9777	C. Arroyo Guinazú (3º T.)	-	0.45	12.57	0.45	18%
5003	Rev. C. Manzano	-	0.16	-	0.62	20.5%
5007	Rev. Hij. Vargas -C. Vista Flores	1.38	0.21	-	1.38	21.5%

Fuente: Elaboración propia en base a DGI (2015), Datos abiertos (2019) y entrevistas (2020).

¹ La información de caudales proviene del informe de eficiencia de conducción del T. Superior, datos disponibles en la web y balance hídrico 2015. Se utilizó el menor caudal reportado atendiendo a potenciales errores de medición

Table 7: Tunuyán Superior - Valores por obra de revestimiento ejecutada

Obra	Metros	Inv.(USD)	EfC_o	EfC_1	A(m3/km)	Inv.(USD/mt)	USD/m3
Ent. Ancón 1º Etapa	1800	280000	0.98	1.000	0.351	155.6	0.14
Ent. Ancón 2º Etapa	1100	234400	0.98	1.000	0.351	213.1	0.19
C. Uco de un T.	1955	150000	0.79	0.980	0.117	76.7	0.21
Pampa-Ent. de un T.	2063	166909	0.94	1.000	0.033	80.9	0.78
Imp. Consulta Rama Sur T. Inferior	2392	226458	0.74	0.980	0.030	94.7	1.03
C. Consulta Sur T. Superior	3600	382524	0.74	0.980	0.030	106.3	1.15
Ent. Ancón 3º Etapa	1191	191000	0.78	1.000	0.006	160.4	8.51
C. Consulta Sur T. Intermedio	1733	202914	0.74	0.980	0.030	117.1	1.27
C. Consulta de un T.	960	199467	0.88	0.980	0.357	207.8	0.19
C. Manzano de un T.	3400	426528	0.86	0.980	0.103	125.4	0.40
Unificación Yaucha Aguanda C. Dumas	1309	123236	0.99	0.980	0.013	94.1	2.35
C. Consulta de un T. 2º Etapa	1320	300458	0.88	0.980	0.357	227.6	0.21
Rev. Higuera Palomares Tupungato	563	73471	0.97	0.995	0.019	130.5	2.20
Rama Yaucha 1º Etapa. Unif. Yaucha Aguanda Rev.	3155	336347	0.74	0.980	NA	106.6	NA
Rev. Rama Yaucha en Calle Libertad Tres Esquinas	770	108665	0.70	0.995	0.042	141.1	1.07
Rama Yaucha 2º Etapa. Unif. Yaucha Aguanda Rev.	3085	468708	0.73	0.980	0.147	151.9	0.34
C. Vista Flores	1275	118975	0.88	0.980	0.050	93.3	0.61
C. Vista Flores II Etapa	1336	172829	0.78	0.980	0.017	129.4	2.47
C. Consulta Rama Norte	790	122474	0.88	0.980	0.357	155.0	0.14
Las Tunas	33825	12334935	0.92	0.980	0.022	364.7	5.38
Arroyo Grande	12148	2308805	0.81	0.980	0.007	190.1	8.82
Rev. Hij. Montenegro - Ins. Yaucha Aguanda	1031	194208	0.96	0.995	0.055	188.4	1.10
C. Rincón	691	141439	0.73	0.980	0.024	204.6	2.77
AVCLP Ent. PVC	8788	1629715	0.82	1.000	0.068	185.4	0.87
AVCLP Imp.	13673	2666807	0.94	0.980	0.033	195.0	1.92
AVCLP Ent. PRFV	1632	1629715	0.82	1.000	0.068	998.6	4.67
Imp. Can. Vista Flores	1400	71765	0.88	0.980	0.050	51.3	0.33
Unif. y Rev. Hij. Silva- 5001	340	41176	0.86	0.995	0.103	121.1	0.38
Rev. Hij. Las Rosas	600	35988	0.80	0.995	0.038	60.0	0.51
Hij. Palma - Cruce Calle La Costa	600	14706	0.74	0.980	0.012	24.5	0.66
Rev. Can. Capacho	100	14706	0.72	0.995	0.010	147.1	4.70
Ent. Can. Mz. Este	1000	117647	0.97	1.000	0.007	117.6	5.35
C. Uco	2060	149895	0.79	0.980	0.117	72.8	0.20
Mej. Can. Rincón	200	7358	0.73	0.990	0.024	36.8	0.49
Rev. Can. Mz. Arroyo Guinazu	440	29170	0.80	0.995	0.009	66.3	2.36
Unif. Hij. Simonovich - Nueva Florida	1300	66436	0.74	0.980	NA	51.1	NA
Rev. Can. Arroyo Guinazú	850	61202	0.80	0.995	0.038	72.0	0.61
Rev. Can. Vista Flores	510	58037	0.88	0.995	0.050	113.8	0.73
Rev. Can. Pampa o Salto - R. Norte	518	47945	0.94	0.995	0.033	92.6	0.90
C. Arroyo Guinazú (3º T.)	850	118731	0.80	0.980	0.017	139.7	2.67
Rev. Hij. Vargas -C. Vista Flores	1153	46516	0.78	0.995	0.017	40.3	0.76
Rev. C. Manzano	1028	110848	0.79	0.995	0.014	107.8	2.46

Fuente: Elab. propia en base DGI (2020).

Table 8: Condiciones sub-sistemas de riego (metros)

Subsistema	Tierra	Hormigon	Entubado	PVC	Chapa	Sin dato
Las Tunas	24987	7094	2115	5	0	25862
Arroyo Grande	76134	374	0	0	27	874
Diq. Valle de Uco	40930	4278	1067	0	0	2929
Yaucha-Aguanda	149427	36288	17	3	68	1971

Fuente: Elab. propia en base a DGI (2018, 2020)

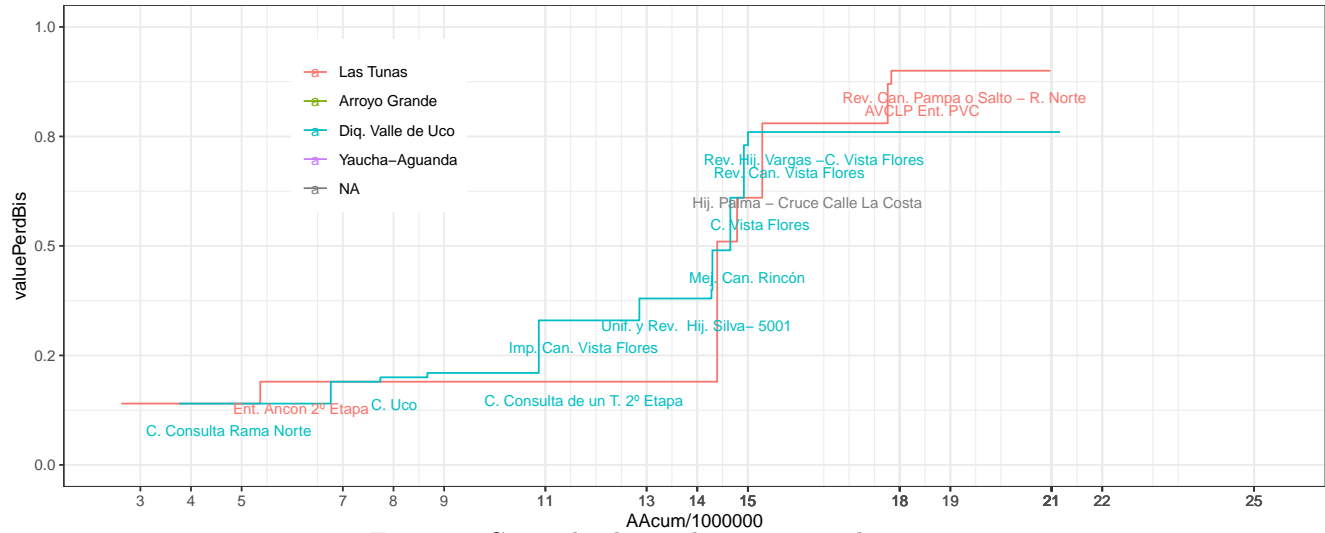


Figure 5: Curva de ahorro de agua por subsistemas

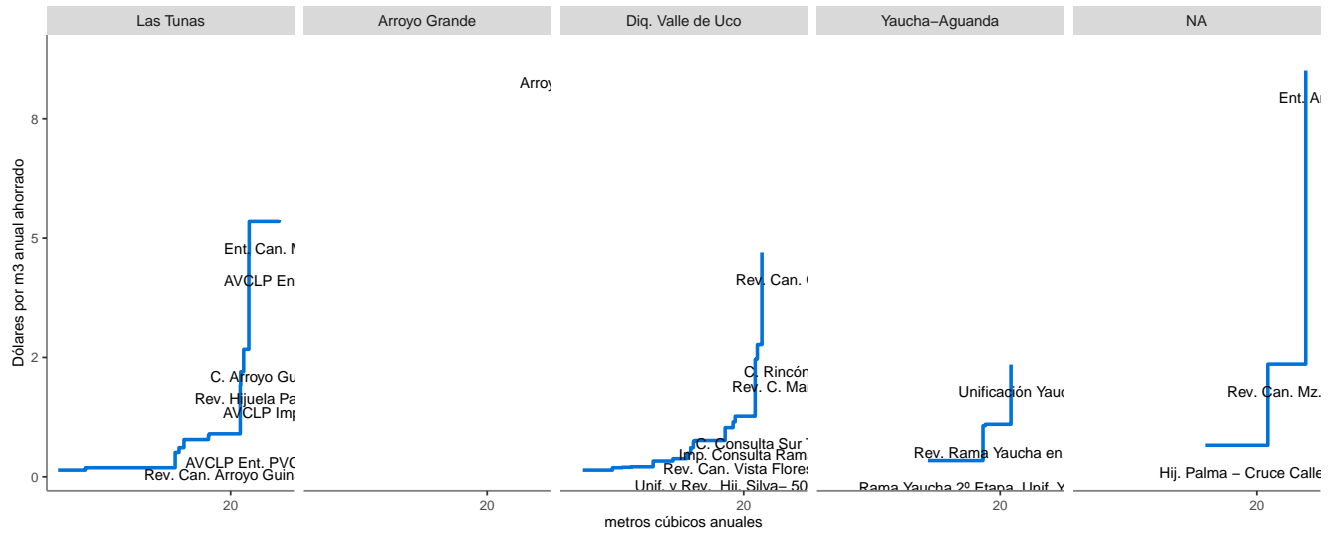


Figure 6: Estimación ahorro por subsistemas

Table 9: Tunuyán Inferior - Caudal promedio por obra información disponible (m3/s)

Código	Obra	Q_prom	Q_anual	Ef1	Ef0	GananciaEfC
2194	Can. Montecaseros Ent. Hij. 3º Salvador	4.27	89.68	1	0.87	13.03%
2284	Rev. Can. Norte Alto Verde	2.25	42.8	1	0.85	14.53%
2623	Rev. Can. Norte	0.96	37.59	1	0.74	25.36%
2564	Rev. Can. Norte Catitas (Mayorga)	0.97	5.81	1	0.76	23.35%
2434	Rev. Can. Nuevo Gil - Hij. N° 2	0.22	2.19	1	0.8	19.62%
2401	Can. Chacabuco (año 2016)	0.26	1.02	0.98	0.81	17.46%
2615	Hij. Los Yoles (años 2016)	0.18	2.56	0.98	-	NA%
2623	Rev. Can. Norte hasta C.Robert	0.96	37.59	1	0.74	25.36%
2434	Rev. Hij. N°2 - Can. Nuevo Gil	0.22	2.19	1	0.8	19.62%
2304	Rev. Can. Norte Alto Verde (tomas 31-33)	-	-	1	0.85	14.53%
2397	Rev. Can. Chacabuco (etapas 10° y 11°)	-	-	1	0.81	18.96%
2558	Rep. Losas Can. Mz. La Paz	-	-	0.98	0.76	21.85%
2577	Rev. Hij. SUR CATITAS	-	-	1	0.76	23.35%
2622	Rev. Can. Los Otoyanes (calle 10-11)	-	-	1	-	NA%
2623	Imp. Can. Norte de Calle Robert-Molina	0.96	37.59	0.98	0.74	23.86%
2438	Imp.acon Hij. Nro 6 - Can. Nuevo Gil	0.35	7.62	0.98	0.8	18.12%
2312	Imp. R. Moyano	0.32	7.92	0.98	0.79	19.06%
2130	Rev. T. R. Henriquez	-	-	1	0.83	16.54%
2133	Imp. T. Red Séptima Zapata	-	-	0.98	0.83	15.04%
2192	Imp. Hij. Sarramea	-	-	0.98	0.71	26.51%
2530	Imp. R. Mundo Nuevo - Calle Vergara	-	-	0.98	-	NA%
2615	Hij. Los Yoles	0.18	2.56	0.98	-	NA%
2137	Rev. R. Godoy - Zona El Altillio	0.84	18.55	1	0.82	17.83%
2271	Imp. R. Norte A. Verde	2.49	37.29	0.98	0.85	13.03%
2533	Imp. Santa Rosa	2.39	26.25	0.98	0.79	18.74%
2438	Imp. Hij. N°6	0.35	7.62	0.98	0.8	18.12%
2312	Imp. R. Moyano Parte III	0.32	7.92	0.98	0.79	19.06%
2559	R.s De La Paz - Imp. T. III	-	-	0.98	0.76	21.85%
2563	Imp. Hij. Suarez	-	-	0.98	0.76	21.85%

Fuente: Elaboración propia en base a DGI (2015), Datos abiertos (2019) y entrevistas (2020).

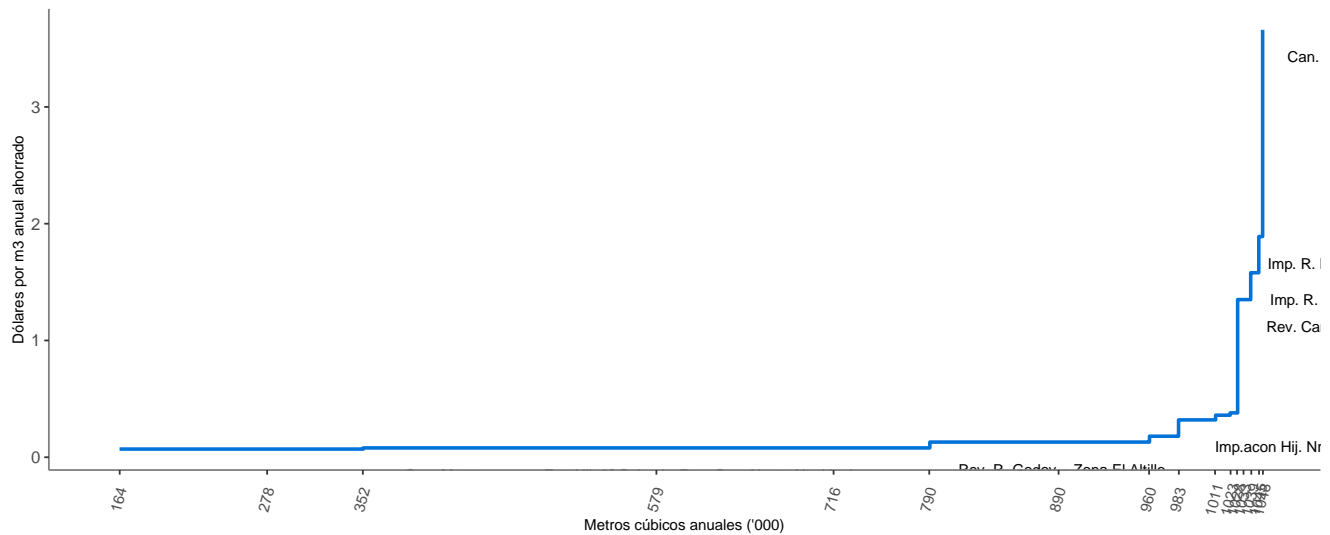


Figure 7: Curva de ahorro de agua enfoque pérdidas

Subdelegación Tunuyán Inferior

Table 10: Tunuyán Inferior

Obra	Modalidad	Metros	USD/mt	ex-ante	ex-post	Pérdida	Delta pérdida	USD/m3
2017								
Can. Montecaseros Ent. Hij. 3° Salvador	Insp.	640	44118	0.87	1	0.28	740524	0.06
Rev. Can. Norte Alto Verde	Insp.	2065	147059	0.85	1	0.27	2266625	0.06
Rev. Can. Norte	Insp.	600	88235	0.74	1	0.55	1371637	0.06
Rev. Can. Norte Catitas (Mayorga)	Insp.	1037	76471	0.76	1	0.07	286703	0.27
Rev. Can. Nuevo Gil - Hij. N° 2	Insp.	610	58824	0.80	1	0.02	57894	1.02
Can. Chacabuco (año 2016)	Insp.	730	82136	0.81	1	0.01	29669	2.77
Hij. Los Yoles (años 2016)	Insp.	416	44272	NA	1	NA	NA	NA
2018								
Rev. Can. Norte hasta C.Robert	Adm.	717	80219	0.74	1	0.55	1639106	0.05
Rev. Hij. N°2 - Can. Nuevo Gil	Adm.	500	48350	0.80	1	0.02	47454	1.02
Rev. Can. Norte Alto Verde (tomas 31-33)	Adm.	1300	127621	0.85	1	NA	NA	NA
Rev. Can. Chacabuco (etapas 10° y 11°)	Lic.	1310	230849	0.81	1	NA	NA	NA
Rep. Losas Can. Mz. La Paz	Adm.	210	109389	0.76	1	NA	NA	NA
Rev. Hij. SUR CATITAS	Lic.	605	105402	0.76	1	NA	NA	NA
Rev. Can. Los Otoyanes (calle 10-11)	Adm.	500	53767	NA	1	NA	NA	NA
2019								
Imp. Can. Norte de Calle Robert-Molina	Adm.	508	57078	0.74	1	0.55	1143812	0.05
Imp.acon Hij. Nro 6 - Can. Nuevo Gil	Adm.	700	53425	0.80	1	0.08	224753	0.24
Imp. R. Moyano	Lic.	857	118493	0.79	1	0.02	62695	1.89
Rev. T. R. Henriquez	Lic.	395	84475	0.83	1	NA	NA	NA
Imp. T. Red Séptima Zapata	Adm.	2160	172603	0.83	1	NA	NA	NA
Imp. Hij. Sarramea	Adm.	519	38356	0.71	1	NA	NA	NA
Imp. R. Mundo Nuevo - Calle Vergara	Adm.	500	65068	NA	1	NA	NA	NA
Hij. Los Yoles	Adm.	1200	123288	NA	1	NA	NA	NA
2020								
Rev. R. Godoy - Zona El Altillio	Adm.	500	71429	0.82	1	0.36	742764	0.10
Imp. R. Norte A. Verde	Adm.	1059	100000	0.85	1	0.23	998539	0.10
Imp. Santa Rosa	Adm.	790	100000	0.79	1	0.22	699946	0.14
Imp. Hij. N°6	Adm.	350	32857	0.80	1	0.08	112377	0.29
Imp. R. Moyano Parte III	Adm.	730	64286	0.79	1	0.02	53404	1.20
R.s De La Paz - Imp. T. III	Adm.	105	13571	0.76	1	NA	NA	NA
Imp. Hij. Suarez	Lic.	705	57143	0.76	1	NA	NA	NA

Fuente: Elab. propia en base DGI (2020).

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. 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.

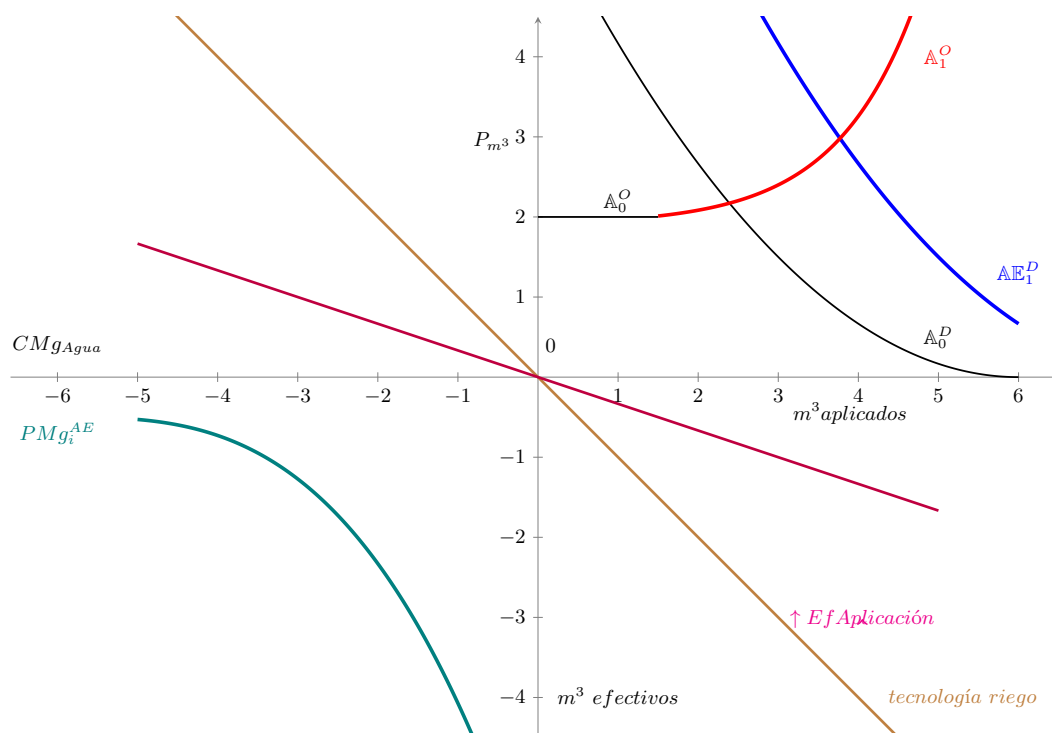


Figure 8: Representación de cambios en la demanda de agua A_i^D acorde a la expansión de la oferta de riego A_1^S

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.
- . 2018. “Servidor de mapas - IDE Irrigación.” <http://ide.irrigacion.gov.ar>.
- 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>.
- 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>.
- 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%7B/_%7Ddigitales/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.