

# AGUA: LA CLAVE PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

**RIEGO SUPLEMENTARIO, LA IMPORTANCIA  
DE UNA TECNOLOGÍA ESTRATÉGICA**

**USO CONSENSUADO DE UN RECURSO ESCASO:  
DESARROLLO PARTICIPATIVO DE GUÍAS  
DE BUENAS PRÁCTICAS GANADERAS  
PARA HUMEDALES PATAGÓNICOS**

**INFLUENCIA DEL PORTAINJERTO  
Y DÉFICIT HÍDRICO SOSTENIDO SOBRE  
CRECIMIENTO VEGETATIVO  
Y RENDIMIENTO EN DURAZNERO**

**CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL  
DE UNA CUENCA DEL NORTE ENTRERRIANO**



# IDIA21

La revista IDIA 21 es una publicación de información sobre conocimientos técnicos, investigación y desarrollo agroindustrial editada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) e integrada a las colecciones de Ediciones INTA. En cada número presenta trabajos y experiencias concluidas o en marcha desarrolladas por integrantes de equipos de extensión, técnicos y de investigación del instituto y de otras instituciones públicas y privadas. En su contenido incluye notas periódicas, así como ensayos breves y columnas que expresan una visión de la actualidad en los distintos temas de tapa abordados.

## CONSEJO DIRECTIVO DE INTA

### Presidente:

Ing. Agr. Mariano Garmendia

### Vicepresidenta:

Dra. Nacira Belen Muñoz

### Consejeros Nacionales:

Ing. Agr. Joaquín Manuel Serrano  
MAGyP

Ing. Agr. Lilita Monterroso  
Facultades de Cs. Agrarias  
Med. Vet. Guillermo Bernardes  
Fac. de Ciencias Veterinarias  
Ing. Agr. Alejandro Conci  
AACREA

Ing. Agr. Mario Nicolás Carlino  
CONINAGRO

Ing. Agr. Sergio Melgarejo  
CRA

Dr. Pablo Pailole  
FAA

Med. Vet. Juan Manuel Bautista  
SRA

### Director Nacional:

Dr. Ariel Pereda

### Directores Nacionales Asistentes:

Dirección Nacional Asistente Operaciones  
y Asuntos Jurídicos  
Ing. Agr. José Luis Spontón

Dirección Nacional Asistente Investigación  
y Desarrollo  
Ing. Agr. Martín Irueta

Dirección Nacional Asistente Planificación,  
Monitoreo y Evaluación  
Lic. Leticia Gabriela Tamburo

Dirección Nacional Asistente Transferencia  
y Extensión  
Ing. Agr. María Rosa Scala

Dirección General Administración  
Lic. Ezequiel Duffard

Dirección Nacional Asistente Desarrollo,  
Gestión y Fortalecimiento de las Personas

Dirección Nacional Asistente Sistemas  
de Información, Tecnología y Procesos  
Ing. Fernando Ricitelli

Dirección Nacional Asistente  
Comunicación Institucional  
Lic. Máximo Bontempo

Coordinación Nacional Vinculación  
Tecnológica y Relaciones Institucionales  
Ing. Zootecnista Juan Sebastián Llorens

## STAFF IDIA 21

### Dirección:

Carlos Parera

### Coordinador temático:

Roberto Simón Martínez

### Coordinación editorial:

Máximo Bontempo  
Gustavo Ciuffo  
Mario Migliorati

### Equipo editorial:

Cecilie Esperbent  
Valeria Guerra  
Laura Pérez Casar

### Colaboradores editoriales:

Florencia Castilla  
Santiago Centeno  
Silvana Fangio  
Andrés del Pino  
Pedro Ibañez  
Laura Lorenzo

### Corrección:

Laura Lima  
Hernán Navarro

### Diseño y Edición:

Verónica Durán

### Fotografía:

Emiliano Vega  
Jeremías Di Gilio

## DATOS EDITORIALES

Chile 460 2.º piso. Ciudad Autónoma de Buenos  
Aires, Argentina. CP (C1098AAJ)  
+54 (011) 4339-0600  
<https://repositorio.inta.gob.ar/>  
[edicionesinta@inta.gob.ar](mailto:edicionesinta@inta.gob.ar)

ISSN en línea 2796-8626  
Institución Editora: Instituto Nacional de Tecnología  
Agropecuaria (INTA). Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca de la Nación.  
Cuatrimestral. Año 3 - N.º 1,  
septiembre 2023, Buenos Aires, Argentina.



Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria

Secretaría de Agricultura,  
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía  
Argentina

Esta publicación es propiedad del Instituto Nacional  
de Tecnología Agropecuaria.  
Rivadavia 1439. CABA, Buenos Aires, Argentina.

EDITORIAL

Por Roberto S. Martínez

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Valle Inferior del Río Negro, coordinador del proyecto "Uso y gestión eficiente del agua en sistemas de riego".

# *El rol del INTA con respecto al agua como tema de trabajo en investigación y extensión*

El agua es un recurso escaso y finito. Siempre lo fue. Pero cada vez somos más los habitantes del planeta y, además, aumentan nuestras necesidades con respecto a su uso. A su vez, tenemos un mayor conocimiento, en tiempo real, de lo que está pasando con el agua en el mundo, lo que ubica el tema en una posición altamente prioritaria dentro de las distintas agendas políticas. A diferencia de otros recursos, como por ejemplo el suelo y los minerales, el agua no está en un lugar definido, sino que su presencia atraviesa todos los terrenos, paisajes y sociedades.

No es de nadie y es de todos. No es posible almacenarla indefinidamente, sino de forma transitoria. El agua cumple un ciclo del cual depende la vida: hoy regamos un árbol y parte de esa agua se transpira, va a la atmósfera y forma parte de la lluvia o nieve que terminarán alimentando el caudal de un río. Su naturaleza cíclica y presente en todos los territorios obliga a realizar un abordaje a escala de cuencas, unidades fundamentales donde es posible analizar de forma práctica y eficiente el ciclo hidrológico como un todo.

El agua es un recurso renovable en la medida que permitamos que el ciclo hidrológico se complete en forma dinámica (planteando manejos diferenciales según épocas y cuencas que no afecten su dinámica). Por eso, son las cuencas la herramienta necesaria para planificar su uso y conservación para garantizar su presencia (en cantidad, calidad y oportunidad) en el futuro, tanto a escala nacional, regional o local.

Dentro de su Plan Estratégico Institucional, el INTA se compromete como misión a "impulsar la innovación y contribuir al desarrollo sostenible de un sistema agropecuario, agroalimentario y agroindustrial competitivo, inclusivo, equitativo y cuidadoso del ambiente, a través de la investigación, la extensión, el desarrollo de tecnologías, el aporte a la formulación de políticas públicas y la articulación y cooperación nacional e internacional". Esto lleva a instalar dentro del tema del agua el objetivo de desarrollar y validar tecnologías de insumos y procesos para contribuir al desarrollo e innovación para el acceso, gestión y uso eficiente, productivo y sustentable del agua en el sector rural y agropecuario.

Las distintas actividades, estudios y tecnologías en las que se aborde el tema agua deben contribuir al desarrollo de su gobernanza, la cual hace posible avanzar en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Así, el INTA puede contribuir a la activación de procesos que promuevan el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados a fin de maximizar el bienestar económico y social de una manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

Claramente, el INTA es protagonista en la construcción de la GIRH con un rol complementario al de otras instituciones. Está comprometido con la sostenibilidad del sistema agropecuario, agroalimentario y agroindustrial, desarrollando trabajos y acciones referidas a la competitividad, la conservación del ambiente y la equidad social. Su búsqueda se centra en contribuir al desarrollo científico y tecnológico en temas relacionados con el agua en el sector productivo, rural y agropecuario con una visión prospectiva de manera participativa, eficaz y eficiente. Dentro de la articulación y complemento entre distintas Instituciones, el INTA tiene distinto peso en diferentes acciones para implementación de la GIRH:

1. Promueve nuevas normativas y aporta información técnica validada, frente a la necesidad de marcos legales modernos y actualizados para la gestión del agua.
2. Colabora en inventarios y monitoreos del recurso, generalmente asociados a instituciones del agua provinciales.

EDITORIAL

3. Aporta en obras menores prediales en lo que se refiere a construcción y mantenimiento de infraestructura para el control del recurso.
4. Participa en la capacitación técnica de actores en el territorio.
5. Aporta de forma destacada a la planificación participativa para una gestión descentralizada.
6. Lidera en lo que se refiere a la aplicación de mejores prácticas en la gestión del agua, estudiando y acercando propuestas para la mejora e innovación con el uso del agua en el sistema agropecuario.
7. Articula con diferentes instituciones vinculadas a la planificación y ejecución de políticas públicas relacionadas con este recurso.

Hay muchos técnicos dentro del INTA trabajando, investigando y haciendo extensión en el tema del agua. Este trabajo no se realiza de manera exclusiva y aislada sino que está siempre vinculado con las cadenas de producción, con los territorios o dentro de la amplitud temática que tienen los recursos naturales y la gestión ambiental. Ejemplo de ello son trabajos de agua y cereales, agua y frutales, agua y territorio, agua y agricultura familiar, agua dentro de la fisiología vegetal, agua para bebida animal, entre otros. Esto puede hacer que, a veces, en la actividad diaria, el agua no siempre se visibilice como un tema en sí mismo sino dentro de trabajos integrados para responder a distintos objetivos del INTA.

De todas maneras, más allá de los instrumentos programáticos con los que cuente el INTA, la vigencia del tema en los territorios y cadenas permite la comunicación e intercambio permanente entre quienes trabajamos en este tema, ya que hay numerosas cuestiones específicas que se resuelven gracias a la cantidad de técnicos formados a nivel institucional, si se considera toda la geografía argentina. Esta comunicación no sirve solo para enumerar y exponer trabajos internos de forma aislada. Por el contrario, es la presencia de cada técnico que trabaja en esta temática en distintos puntos del país, la que hace del INTA una institución con una presencia y visión territorial que es muy valorada a la hora de obtener información confiable y robusta sobre disponibilidad, tecnologías y gestión de los recursos hídricos en la Argentina. Todo esto recordando que el trabajo sirve en la medida que este se realice en forma articulada con otras instituciones, muchas

de ellas con dedicaciones más específicas en agua.

El INTA, como institución dinámica, ha tenido cambios en su estructura programática a lo largo del tiempo. El tema agua ha pasado por distintas instancias, hubo períodos donde se hablaba de los planes de agua, de subprograma agua, de proyectos dentro de otros programas, de una red de agua. Incluso entre los años 2014 y 2018 se logró contar con un Programa Nacional Agua. Más allá de estas cuestiones jerárquicas de carácter interno, siempre los temas priorizados para el desarrollo de proyectos pasan por el conocimiento, manejo y gestión de las cuencas y estudios de calidad de agua. Estos son los que dan base a todas las tecnologías propuestas. Por ejemplo: i) las aplicadas al manejo del agua de secano, que aporta a las estrategias del manejo de cultivos y suelos para el buen aprovechamiento del agua de lluvia; ii) el riego de cultivos, cuyo objetivo de aplicar el agua que no provee la lluvia, manteniendo la sustentabilidad del sistema (por ejemplo, no salinizando ni alcalinizando los suelos) e implica una aplicación profunda de conocimientos de la agronomía del agua. En este último caso, no se trabaja solamente en el riego parcelario, sino en aportes a los administradores de distintas instituciones (consorcios, asociaciones de regantes, instituciones provinciales) para la gestión del agua para el riego y iii) trabajos de acceso al agua con una visión de extensión y de territorio que dan al INTA presencia y compromiso con las distintas comunidades rurales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA DE TAPA

AGUA: LA CLAVE  
PARA UNA AGRICULTURA  
SOSTENIBLE

## EDITORIAL

El rol del INTA con respecto al agua como tema de trabajo en investigación y extensión **2**  
Por Roberto S. Martínez

## NOVEDADES INSTITUCIONALES

INTA financia proyectos estratégicos para el sector **8**

Formación de excelencia, una prioridad institucional **9**

## VINCULACIÓN TECNOLÓGICA

Convenio para desarrollar inteligencia artificial en torno a la semilla de soja **10**

La genética del INTA será evaluada en Sudáfrica **11**

El INTA firma un acuerdo con el INTI y la Asociación Civil CaMeDa **12**

Acuerdo para desarrollar envases plásticos para almacenamiento **13**

## ACTUALIDAD PERIODÍSTICA

Cómo maximizar el uso del agua para una producción agrícola sostenible **14**  
Por Cecile Esperbert



## ENSAYOS BREVES

Escenarios climáticos y de expansión agrícola: efecto sobre el balance de agua en la Cuenca del río Colorado, Argentina **19**

Por Carolina Aumassanne, Fernanda Gaspari, María Eugenia Beget, Dardo Fontanella, Carlos Di Bella

El desafío de avanzar hacia la seguridad hídrica **29**  
Por Roger Alejandro Benítez, Lucas Javier Vázquez

Aportes para repensar los sistemas productivos Norpatagónicos en un contexto de déficit hídrico y cambio climático **32**

Por Sebastián Villagra, Lucía Mañueco, Gonzalo Caballe, Roberto Simón Martínez, Vicente Buda, Leonardo Claps, Joaquín Córdoba, Marcos Easdale, Andrea Enríquez, Maira Guiñazú, Paula Marchelli, Ayelén Montenegro, Evelyn Neffen, Miguel Sheridan, Cristian Musi Saluj, Ángel Muñoz, Andrea Rodríguez, Sergio Romagnoli, Esteban Thomas, Ana Paula Candan, Florencia Castilla, Carlos Magdalena, Luis Sacco, Mauro Sarasola, Darío Fernández, Adrián Núñez, Cecilia Gittins, Hernán Zelmer

El nexo agua, energía y alimentos en Argentina. Un abordaje de relevancia para el desarrollo de políticas intersectoriales en la agricultura irrigada

Por Roberto Esteban Miguel, María Cecilia Gareis

Riego suplementario, importancia de una tecnología estratégica

Roberto Paulo Marano, Eduardo Martellotto, Aquiles Salinas

## TRABAJOS TÉCNICOS

Desempeño y eficiencia de riego del cultivo de cebolla en el valle bonaerense del río Colorado

Marcos Bongiovanni, Rolando Anze, Roberto Simón Martínez

Calidad del agua superficial de una cuenca del norte entrerriano

Natalia Verónica Van Opstal, Mariela Seehaus, Emmanuel Adrián Gabioud, Marcelo Germán Wilson, María Rosa Repetti, Luciana Regaldo, Ana María Gagneten, María Carolina Sasal



**40** Uso consensuado de un recurso escaso: desarrollo participativo de guías de buenas prácticas ganaderas para humedales patagónicos

Andrea Enríquez, Valeria Aramayo, Gustavo Buono, Matías Curcio, Manuela Fernández, Guillermo García, Paula Paredes, Fernando Umaña, Víctor Utrilla, Paola Vargas, María Victoria Cremona

**43**

Pautas de mejora para riego por aspersión

Federico Aimar, Roberto Paulo Marano, Aquiles Salinas, Juan Pablo Giubergia, Ignacio Severina

Estudio comparativo del desempeño de los canales secundarios del Proyecto del Río Dulce

**48** Daniel Prieto, Gabriel Angella

Análisis espacio temporal del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en el período 1995-2020

**52** Néstor Barrionuevo, Cynthia Waldman, Roberto Martínez

Influencia del portainjerto y déficit hídrico sostenido sobre crecimiento vegetativo y rendimiento en duraznero

Daiana Mateo, Carlos Puertas, Antonio Weibel

Aguadas para ganadería según los ambientes y las guías de Buenas Prácticas Ganaderas

Mario Basán Nickisch, Luciano Sánchez

De desecho a recurso: el uso de aguas residuales tratadas

en la producción de forraje  
María Victoria Cremona, Martha Cecilia Riat, Virginia Velasco, Carlos Catenazzo

**58** Comparación de dos sistemas de riego presurizado en cultivo hortícola tradicional del oasis sur de la provincia de Mendoza

Claudio Daniel Giardina, Leonardo Saavedra

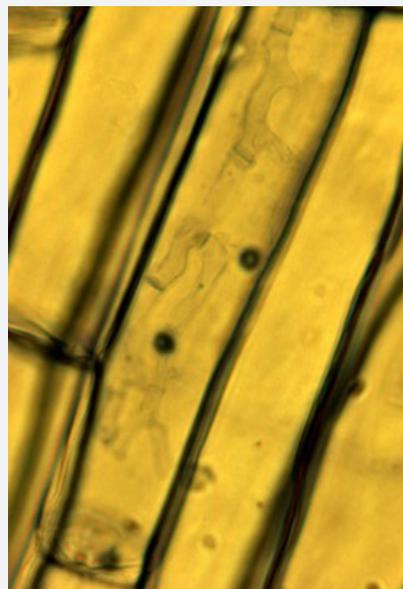
**107**

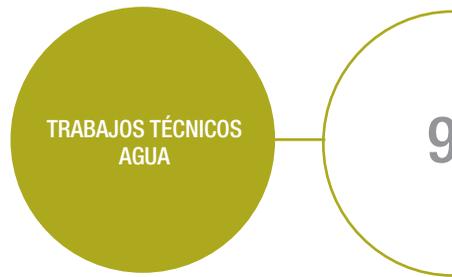
## INNOVACIÓN Y BIOTECNOLOGÍA

Control biológico de patógenos vegetales. Una revisión de las investigaciones realizadas en los últimos 30 años en el Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola

**110**

Laura Amelia Gasoni, Mario Martín, José Matías Zapiola, Rodrigo Rojo, Viviana Andrea Barrera





# De desecho a recurso: el uso de aguas residuales tratadas en la producción de forraje

María Victoria Cremona<sup>1</sup>, Martha Cecilia Riat<sup>2</sup>, Virginia Velasco<sup>3</sup>, Carlos Catenazzo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) “Dr. Grenville Morris” Bariloche, Modesta Victoria N° 4450, San Carlos de Bariloche, Río Negro.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Río Negro, Instituto de Investigaciones en Agroecología, Recursos Naturales y Desarrollo Rural (IRNAD), Anasagasti 1463, San Carlos de Bariloche, Río Negro.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) “Dr. Grenville Morris” Bariloche, Agencia de Extensión Rural (AER) Ingeniero Jacobacci, Gobernador Soria N° 43, Ingeniero Jacobacci, Río Negro.

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Río Negro, Anasagasti 1463, San Carlos de Bariloche, Río Negro.

“Estos resultados fueron parcialmente publicados en el <sup>xxvii</sup> Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires, 2022”.

cremona.mv@inta.gov.ar

## INTRODUCCIÓN

Los tratamientos de aguas residuales urbanas generan como subproducto agua concentrada en el espacio y el tiempo en la salida de las plantas de tratamiento que tienen en suspensión una gran carga de nutrientes. Si esas aguas se vierten a cuerpos receptores hídricos constituyen un problema potencial de contaminación con carga orgánica por los riesgos de eutrofización que eso implica, con impactos ambientales que pueden revestir diferente gravedad de acuerdo a las características de ese cuerpo receptor (Pedrero *et al.*, 2010). En cambio, el uso de esas aguas residuales tratadas para el riego en la producción de cultivos representa una muy interesante oportunidad para aprovechar tanto el agua como los nutrientes, a la vez que se cierra el tratamiento con un mínimo impacto en el ambiente (WWAP, 2017; Quadir *et al.*, 2010).

La reutilización tiene como objetivo cerrar el ciclo hidrológico a escala local reciclando principalmente nitrógeno y fósforo presentes en las ART, convirtiéndolas así en un recurso. Su utilización en lugar del agua potable en riego agrícola y forestal es una alternativa que resulta de especial interés en áreas donde la escasez de agua afecta las actividades humanas (Faleschini, 2016). Sin embargo, es también un riesgo ambiental que debe ser monitoreado. En la bibliografía se reportan efectos negativos relacionados con el incremento de la salinidad y sodicidad que pueden provocar toxicidad específica de algunos iones como el sodio y problemas de infiltración por pérdida de estructura (Pedrero *et al.*, 2010), sobrecarga de nutrientes, que puede afectar a los cultivos, acumularse en el suelo o lixiviar y afectar fuentes de agua, y acumulación de metales pesados u otros contaminantes orgánicos,

aunque estos últimos tienden a precipitar en los tratamientos previos al reúso (Hamilton *et al.*, 2007).

Se estima que a nivel mundial el agua residual tratada se reutiliza en el riego de 4,5 millones de hectáreas, lo que representa un 1,5 % del área de riego total (Bixio *et al.*, 2006). En Argentina, la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuenecas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) trabaja desde hace más de una década en la propuesta llamada Vuelco cero, reglamentando la reducción del vuelco de efluentes tratados a los cursos de agua como cuerpos receptores. Río Negro se suma, desde el año 2012, normalizando y regulando la RART (DPA, 2014), definiendo que todas las plantas de tratamiento que se construyan o se proyecten desde ese año deben incorporar programas de reutilización.

La zona centro de la provincia de Río Negro integra los dos tercios de la

superficie en la Argentina que presenta balances hídricos negativos la mayor parte del año, esto señala una importante limitación para todo tipo de actividades productivas y, en muchos casos, dificulta el abastecimiento de agua para consumo humano. La localidad de Ingeniero Jacobacci se localiza en la región centro-sur de la provincia de Río Negro y se caracteriza por situarse en un ecosistema xérico, con un estado de desertificación medio a grave, cuya principal actividad económica es la ganadería ovina (Godagnone y Bran, 2009). En esta ciudad funciona una planta depuradora de aguas cloacales mediante lagunas facultativas que genera un caudal de agua residual de aproximadamente 200 m<sup>3</sup>/día, proveniente de un barrio que eran volcadas a un mallín en el faldeo norte del predio, un área ambientalmente sensible, considerando la cercanía de la zona urbana.

Para evitar el vuelco al mallín y aprovechar el recurso en esta región en donde la producción bajo riego es de otro modo muy dificultosa, se están llevando adelante ensayos de reutilización en la producción de forraje. En mayo de 2015, se firmó un convenio entre el Departamento Provincial de Aguas, la Universidad Nacional de Río Negro, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, la Municipalidad de Ingeniero Jacobacci y la Cooperativa de Agua y Servicios Públicos de Jacobacci, para instalar en febrero de 2016 un ensayo de reutilización de aguas residuales tratadas para la producción de forraje y material leñoso. Su objetivo es evaluar el impacto de la reutilización de efluentes tratados en las propiedades del suelo y en la productividad vegetal mediante el riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se instaló en 2016 y se realizó un diseño experimental en parcelas divididas, donde el tipo de agua utilizada para riego es el factor principal, mientras que dentro de las parcelas principales se aleatorizaron los tratamientos del tipo de vegetación (alfalfa y campo natural), en parcelas por triplicado de 2 x 3 m. La alfalfa se sembró a fines de febrero y se comenzó a regar inmediatamente. El tratamiento de campo natural consistió en la remoción de la vegetación natural para la sistematización del terreno, permitiendo la proliferación de la vegetación espontánea.

El riego se realiza por melgas y el agua es conducida por tuberías hasta su cabecera. Se riega diariamente, de sep-

**Tabla 1.** Datos analíticos del agua residual tratada y de perforación utilizada en el ensayo.\* CFI, 1991. Perforación J11 (41° 19' S, 69° 31' O) (\*\*) Lab UNC 5/15 y DPA.

	Agua residual tratada (**)	Agua de perforación(*)
pH	7,6	8,2
Conductividad (mS/s)	1,6	1,2
DQO (mgO <sub>2</sub> /ml)	358	-
Fósforo total (mgP/l)	7,1	-
Nitrógeno total (mgN/L)	25	-
Nitratos mg/L	-	7
RAS	5,5	9

**Tabla 2.** Características generales de suelo del ensayo.

Prof. en cm	0-20	20-40	40-60
pH agua (1:2,5)	8,33		
Conductividad eléctrica (1:2,5) (dS/m)	0,1		
% Materia orgánica	0,5		
% Nitrógeno total	0,04		
Rel C/N	7		
Fósforo disponible (Olsen)	2,19		
Capacidad de Campo	9,1	9,6	9,6
Punto de Marchitez Permanente	5,6	5,9	6,1

tiembre a principios de junio, con una lámina de aproximadamente 10 mm, con el objetivo de disponer la mayor cantidad de agua tratada posible, con un sistema automatizado y bajo la supervisión del personal de la planta.

En cada temporada de crecimiento se realizaron tres y cuatro cortes de la vegetación en todas las parcelas, en la zona central de estas, en un marco de 0,2 m<sup>2</sup>, secándose el material en estufa a 60 °C. Se calculó el rendimiento total como la suma de los cortes y se expresaron los resultados en kg MS/ha. En cada cosecha se hizo un corte de limpieza de toda la parcela, dejando aproximadamente 10 cm de altura de vegetación remanente para favorecer el rebrote.

Al inicio del ensayo y al final de cada temporada de crecimiento (mayo/junio) se realizaron muestreos de suelo. Se tomaron muestras individuales por parcela hasta los 80 cm de profundidad a intervalos de 20 cm. En laboratorio se secaron y tamizaron por malla de 2 mm, determinándose sobre cada una de ellas el pH en agua (relación suelo agua 1:2,5) y la conductividad eléctrica de la suspensión. En los muestreos de la temporada 2018 se evaluaron también nitrógeno inorgánico, amonio (NH<sub>4</sub>) y nitrato (NO<sub>3</sub>) con destilación de Bremner y fósforo disponible por el método Olsen

(Sparks *et al.*, 1996). El ensayo prevé el monitoreo de otro conjunto de variables edáficas que no son presentadas en este trabajo.

La caracterización del agua residual tratada y la de perforación se detalla en la tabla 1 y los suelos en la tabla 2.

Para el análisis estadístico se realizaron análisis de variancia de los datos, con el diseño en parcelas divididas y seleccionando la comparación de interés especificada en cada caso. Se utilizó el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2020).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

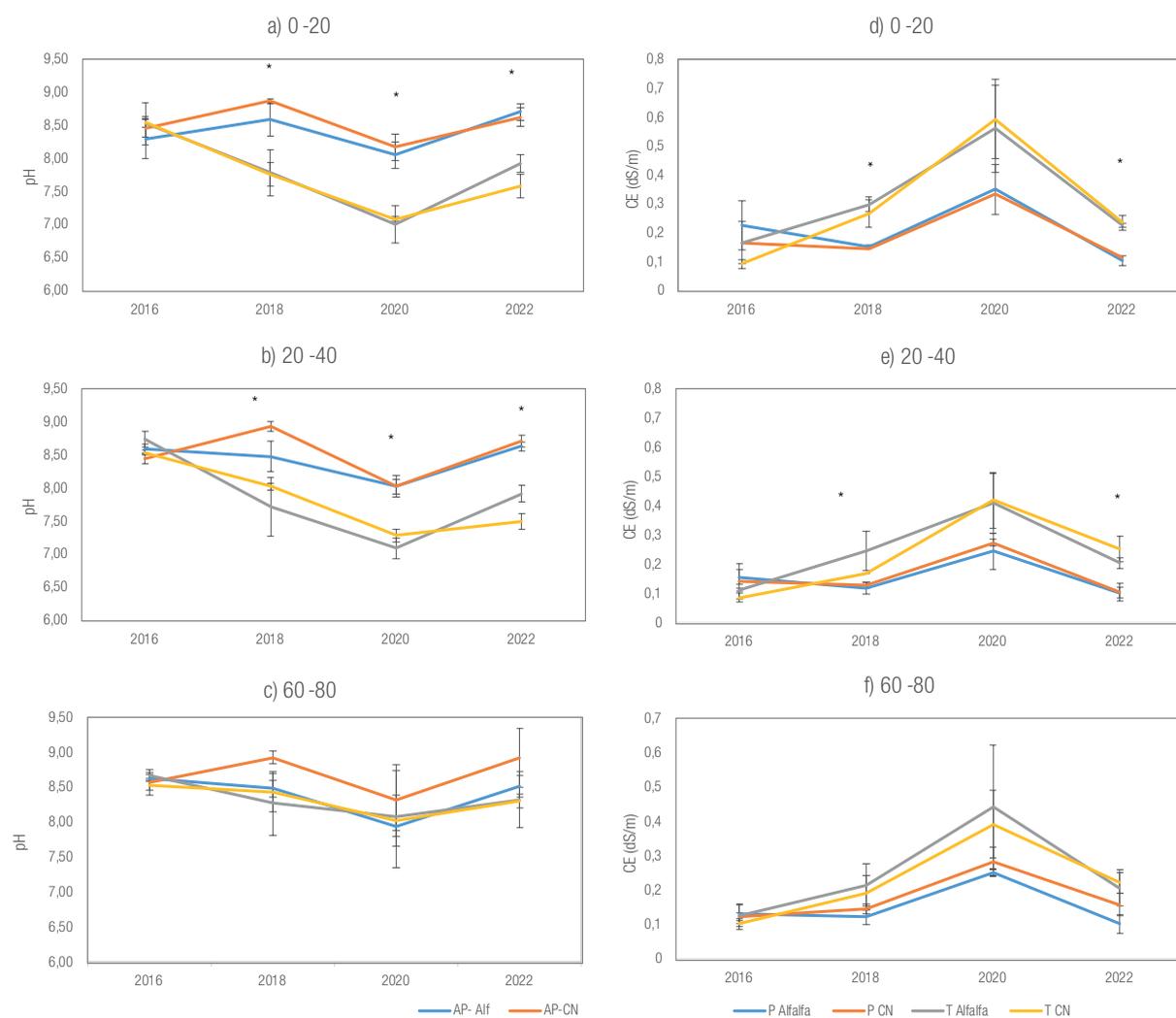
### Desarrollo de la vegetación

El riego con ART, además de satisfacer los requerimientos de agua de un cultivo, provee de una buena cantidad de nutrientes que se manifiestan en los rendimientos. En este caso, la producción de MS/ha de la vegetación mostró resultados variables entre las temporadas, en función de las condiciones climáticas (temperatura y heladas) reinantes en cada una de ellas (tabla 3), pero en general hay diferencias entre tratamientos, muy notorias a favor de los regados con ART. En las primeras temporadas las diferencias entre la alfalfa regada con

**Tabla 3.** Rendimiento de las parcelas forrajeras al final de las temporadas de muestreo. \*el último corte de 2020 es estimado, ya que no pudo realizarse debido al ASPO. Las letras indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Agua	Vegetación	2018		2020 *		2022	
Pozo	Alfalfa	46244 ±	1624 a	22012 ±	3616 a	29332 ±	6352 a
	Campo Natural	16766 ±	5274 b	12258 ±	1181 b	11246 ±	4398 b
ART	Alfalfa	50579 ±	7936 a	26387 ±	883 a	35062 ±	10565 b
	Campo Natural	42216 ±	7530 a	14487 ±	525 b	26781 ±	2460 ab

**Figura 1.** Evolución de la reacción del suelo desde la instalación del ensayo (2016) y cada dos años de riego, para los diferentes tipos de vegetación (alfalfa y campo natural) y tipos de agua utilizados (P de perforación y T agua residual tratada). Los asteriscos indican diferencias significativas entre tipos de agua ( $p < 0,05$ ).



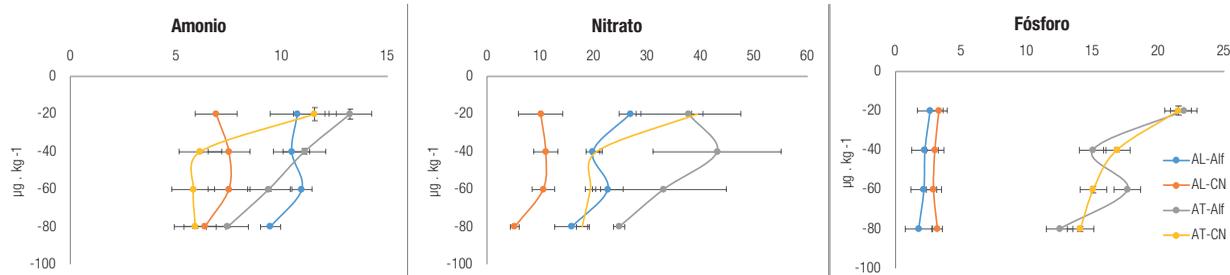
ambos tipos de agua no son significativas, pero el aporte de nutrientes del ART permite lograr mejores rendimientos en la temporada 2022, en la medida que algunos nutrientes en los tratamientos regados con agua de pozo pueden empezar a tornarse limitantes. En el campo natural, la diferencia a favor del ART es siempre significativa.

### Salinidad y alcalinidad

El riego en general y en función del manejo que se haga del agua implica la adición de sales al suelo, que pueden acumularse y generar efectos adversos en las características físicas del suelo y el desarrollo de las plantas. Esto puede ser aún más significativo con aguas de reúso y es potencialmente uno de los riesgos

ambientales más preocupantes que esta práctica puede generar. Para monitorear este proceso, se muestra en la figura 1 la evolución en el tiempo del pH y conductividad eléctrica, desde el muestreo inicial en febrero de 2016 y luego de las diferentes temporadas de riego a lo largo de 6 años. Los valores iniciales de pH son moderadamente alcalinos, típicos de los suelos

**Figura 2.** Amonio, nitrato y fósforo disponible en el perfil del suelo en los tratamientos regados con agua tratados vs. agua de perforación.



áridos sobre los cuales se instaló el ensayo. Sin embargo, ya desde la primera fecha de muestreo reportada, en 2018 se observa un descenso significativo de este de por lo menos medio punto en los tratamientos regados con agua tratada. Esta tendencia se acentúa y alcanza hasta un punto de descenso en los años siguientes en los primeros 20 cm de profundidad (figura 1 a). En el horizonte siguiente (20-40 cm) (figura 1 b) también se verifica la tendencia, con una magnitud algo menor, pero con diferencias estadísticamente significativas a partir de los dos años de riego.

La respuesta del pH al riego con ART es muy variable según el suelo de que se parte (Minz *et al.*, 2011). El agregado de materia orgánica y formas orgánicas e inorgánicas de nitrógeno con el agua y su degradación en el suelo pueden desencadenar procesos que generen un aumento de la acidez (Paul, 2016) que se refleja rápidamente en suelos que tienen muy poca capacidad de amortiguación, como es el caso de los suelos arenosos del presente estudio. El aumento de actividad biológica también puede contribuir a este fenómeno, por el incremento del CO<sub>2</sub> generado en la respiración microbiana. Ambos procesos son beneficiosos para suelos pobres como los originales del ensayo, mejorando su fertilidad potencial no solo por el aumento en la dotación de nutrientes, producto del aporte de materia orgánica, sino también por la mejora en la disponibilidad de algunos elementos como el fósforo que pueden verse restringidos en condiciones de alcalinidad. En profundidad no se verifican estos procesos, por lo que no

se observan diferencias significativas entre tratamientos.

La conductividad eléctrica, en cambio, se incrementó significativamente en los tratamientos con agua tratada respecto de los regados con agua de perforación en magnitudes que varían entre 0,1 y 0,2 dS/m, en algunas fechas de muestreo y en los horizontes hasta 40 cm (figura 1 d y e). Por un lado, en el agua tratada, este aumento de la CE se podría deber a una combinación de factores: en principio su CE es levemente más alta que el agua de perforación (tabla 1), pero por otro lado junto con el agua también se incorporan con la materia orgánica y formas inorgánicas de nitrógeno que podrían contribuir a este incremento (Lemeillet *et al.*, 2017). Es un parámetro que también resulta mucho más variable, y los desvíos en las mediciones de una misma fecha son mayores, pero también entre fechas, ya que en el último muestreo (2020) se observan leves descensos respecto del anterior.

Es importante destacar que la magnitud de estos incrementos no sugiere riesgos en el mediano plazo. A pesar de ello, para planteos de largo plazo en zonas áridas resultaría conveniente realizar balances de sales que permitan estimar la vida útil de los proyectos de reutilización.

### Nutrientes disponibles

Los nutrientes aportados por el ART pueden ser extraídos por la biomasa producida en los cultivos y enriquecer la dotación del suelo, pero si son por encima de la capacidad de retenerlos

del suelo se convierten en un riesgo potencial de lixiviación y contaminación de fuentes de agua subterráneas (Bar-Tal, 2011). En este estudio, en las muestras de suelo realizadas a final de cada temporada de crecimiento se determinaron los nutrientes disponibles en el suelo hasta los 80 cm y los resultados se muestran en la figura 2.

El ART aporta N fundamentalmente en forma de amonio y formas orgánicas solubles que en condiciones favorables a la nitrificación determinan el enriquecimiento del suelo en forma de nitrato (Bar-Tal, 2011), lo que depende de las características del suelo y del ambiente. Estas condiciones se evidenciaron en este ensayo, en donde las concentraciones de nitrato alcanzaron valores superiores a la de amonio en todo el perfil. Y si bien las diferencias no son tan evidentes entre tratamientos, la alfalfa, una especie fijadora de N, parece menos eficaz que otras en la remoción del excedente, ya que tiende a presentar los valores más altos de ambas formas en buena parte del perfil. En el P en cambio se observa claramente una mayor acumulación de este nutriente en hasta los 80 cm en los tratamientos regados con ART.

La acumulación de nutrientes es aún en todos los casos mayor en superficie que en profundidad, y aunque los valores máximos observados aún no representan riesgos ambientales, se evidenció una clara tendencia a la carga de nutrientes del suelo en los tratamientos con riego con ART, lo que obliga a realizar en todos los casos monitoreos ambientales rigurosos que prevengan potenciales riesgos de contaminación de acuíferos.

## CONCLUSIONES

EL riego con ART es una práctica que puede aportar a una gestión más eficiente del ciclo hidrológico, utilizando un recurso disponible y minimizando los riesgos ambientales de contaminación de cuerpos receptores.

Del análisis comparativo entre los tratamientos con agua tratada y agua de perforación, se observan algunos cambios positivos, especialmente en suelos naturalmente pobres en materia orgánica y nutrientes, pero también algunos no deseados que son necesarios monitorear rigurosamente para evitar el deterioro de la calidad del suelo o excesos de nutrientes que puedan generar movimientos no deseados a las napas freáticas.

## AGRADECIMIENTOS

A Antonio Curruman, por su trabajo en el mantenimiento y cuidado del ensayo. Al Departamento Provincial de Aguas, en especial Santiago Magnin, el municipio y la Cooperativa de Agua de Ingeniero Jacobacci y el ENTE de la Región Sur por el apoyo a este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

BAR-TAL, A. (2011). Nitrogen in treated wastewater-irrigation. En: LEVY, G; FINE, P AND BAR-TAL, A. (eds.). Treated Wastewater in agriculture: use and

impacts on the soil, environment and crops. Wiley Blackwell, 446 p.

BIXIO, D.; THOEYE, C.; DE KONING, J.; JOKSIMOVIC, D.; SAVIC, D.; WINTGENS, T.; MELIN, T. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination* 187. 89-101 pp.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. (2017). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> verificado: 03 de octubre de 2022).

FALESCHINI, M. (2016). Estrategias, dificultades y beneficios en la aplicación del reúso del agua tratada en tres municipios de la Patagonia. IFRH.

GODAGNONE, R.E.; BRAN, D. (2009). Inventario de los Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro. Actualización. Ediciones INTA.

HAMILTON, A.; STAGNITTI, F.; XIONG, X.; KREIDL, S.; BENKE, K.; MAHER, P. (2007). Wastewater irrigation: the state of play. *Vadose zone journal*, vol.6, n.º 4, 823-840 pp.

LEMEILLET, F.; SAINATO, C.; MAL-LEVILLE, H.; CARBÓ, L.; HERRERO, A. (2017). Electrical conductivity of a soil treated with effluent from Livestock. *Geoacta (Argentina) Volume 41, Issue 2*, 57-73 pp.

MINZ, D.; KARYO, R.; GERSTL, Z. (2011). Effect of municipal treated wastewater irrigation on soil microbiology. En: LEVY, G.; FINE, P.; BAR-TAL, A. (eds.). Treated

Wastewater in agriculture. Wiley-Blackwell. 445 p.

PAUL, E.A. (2016). The nature and dynamics of soil organic matter: plant inputs, microbial transformations and organic matter stabilization. *Soil Biology and Biochemistry* 98:109-126 pp.

PEDRERO, F.; KALAVROUZIOS, J.; ALARCÓN, J.J.; KOUKOULAKIS, P.; ASANO, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management* 97 (2010) 1233-1241 pp.

QADIR, M.; WICHELNS, D.; RASCHID-SALLY, L.; MCCORNICK, P.G.; DRECHSEL, P.; BAHRI, A.; MINHAS, P.S. (2010). The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management* 97 561-568 pp.

SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSON, C.T.; SUMNER, M.E. (1996). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA Book.

WWAP (PROGRAMA MUNDIAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS NACIONES UNIDAS). (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.