



**XXIX Congreso Argentino  
de la Ciencia del Suelo**  
*Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro*  
San Fernando del Valle de Catamarca,  
Prov. de Catamarca, Argentina  
21 al 24 de mayo de 2024



**RIEGO DE ESPECIES FORESTALES CON AGUA RESIDUAL TRATADA: EFECTOS EN LA VEGETACIÓN Y EL SUELO**

**Cremona M.V.<sup>1</sup>, Riat M.C.<sup>2</sup>, Velazco, V.<sup>3</sup>, Magnin, S.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>INTA-EEA Bariloche; <sup>2</sup>UNRN-IRNAD; <sup>3</sup>INTA AER Ing. Jacobacci; <sup>4</sup>Dto. Prov. Aguas RN;  
\*Modesta Victoria 4450, Bariloche (8400) Río Negro; [cremona.mv@inta.gob.ar](mailto:cremona.mv@inta.gob.ar)

**RESUMEN:** Las aguas residuales tratadas (ART) provenientes de los sistemas municipales con un alto contenido de nutrientes, son una oportunidad valiosa para la producción especialmente en zonas áridas. Pero es necesario monitorear los impactos que este aporte genere en el ambiente. En la planta de Ing. Jacobacci (RN) evaluamos el desempeño de dos especies forestales (sauce y olivillo) regadas con ART comparándola con el riego con agua de perforación (AP). El ensayo se planteó con un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones, y se riega con mangueras perforadas. Luego de 7 años de riego se evaluó la supervivencia y el crecimiento de las plantas, y se tomaron muestras de suelo hasta los 80 cm en la línea y entrelínea de plantación, comparándolas con un muestreo inicial equivalente. En el sauce regado con ART los crecimientos fueron significativamente superiores al riego con AP, pero hubo mucha pérdida de plantas debido al taponamiento de goteros. En el suelo, se observaron descensos de más de 1,5 puntos de pH con el ART, atribuible a la oxidación biológica del N aportado. Se midieron incrementos importantes de la CE pero con gran variabilidad producto de la irregular aplicación de agua. La MO se incrementó más significativamente con el ART, lo que implica una mejora de suelos naturalmente muy pobres. El P disponible aumentó significativamente hasta 60 cm con el agua con nutrientes. Si bien en 7 años no se alcanzaron niveles ambientalmente alarmantes, se evidencia un nivel de aplicación superior al utilizado por las plantas. Se concluye que el sistema de distribución de agua es crítico para asegurar el éxito de la práctica, para evitar pérdidas y controlar la tasa de aplicación de nutrientes. Se requiere además un monitoreo periódico de variables que pueden alterar la calidad del suelo y/o generar un riesgo ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** salicáceas, olivillo, monitoreo ambiental.

### INTRODUCCION

En la región sur de la Provincia de Río Negro los déficits hídricos se mantienen durante casi todo el año (Godagnone y Bran, 2014), y no existen fuentes superficiales de agua, por lo que el agua subterránea es un recurso muy escaso principalmente destinado al consumo humano y animal. Por otro lado, no hay acceso al servicio de gas natural, por lo que el abastecimiento de leña para calefacción y cocción de alimentos es de vital importancia y es mayormente de provisión exógena. Los planteos productivos que generen biomasa para energía solo pueden ser viables si el abastecimiento de agua no compite con el consumo.

En este contexto, las aguas residuales tratadas (ART) de los sistemas de colectores cloacales municipales son una oportunidad para la producción. En Ing. Jacobacci funciona un sistema de tratamiento de líquidos cloacales mediante lagunas facultativas, que trata los efluentes de parte de la población dentro del ejido municipal. En el marco de un convenio entre el Depto. Prov. de Aguas (DPA), la Univ. Nac. de Río Negro (UNRN), el Inst. Nac. de Tec. Agropecuaria (INTA), la Coop. de Aguas y Servicios Públicos de la localidad (COAySP), el Ente para el Desarrollo de la Región Sur (ENTE), y el Municipio, se logró la instalación de un ensayo forestal para evaluar el uso de las ART monitoreando los potenciales riesgos ambientales.

1276

Organizado por:



**AACCS**  
ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE CIENCIA DEL SUELO



**UNCA**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA



**FCA**



Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria

En zonas áridas donde la Materia Orgánica del Suelo (MOS) suele ser muy escasa, el riego con ART representa una alternativa para mejorar el carbono edáfico y la dotación de nutrientes (Riat et al 2018 y 2020). Sin embargo, el riesgo de acumulación de sales (Hamilton et al, 2006, Mastrantonio, 2006) y enriquecimiento de nutrientes debe ser atendido, particularmente del fósforo dado el desequilibrio entre los aportes realizados por el ART y los consumos de los cultivos (Cremona et al 2023), sumada su tendencia a acumularse en la fracción mineral en función de sus características (Lal y Sewart, 2017).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el riego con ART en una plantación de especies forestales en cuanto al desempeño de estas y los impactos en el suelo, comparándolo con el riego con agua de perforación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se encuentra instalado en la planta de tratamiento de líquidos cloacales de la localidad de Ing. Jacobacci (41°19'21.89"S, 69°30'37.59"O), que recibe efluentes de un barrio de 250 familias y cuenta con una laguna facultativa para el tratamiento del agua (ART). Paralelamente se cuenta con una perforación de agua freática dentro del mismo predio (AP). Ambos tipos de agua se acumulan en tanques que se distribuyen por gravedad por mangueras de ½" perforadas con mecha de 3 mm a modo de goteo, hacia las parcelas de árboles.

### Descripción general del ensayo

El diseño experimental se realizó en parcelas divididas donde el tipo de agua utilizada para riego es el factor principal (ART y AP), mientras que dentro de las parcelas se aleatorizó la especie, implantando parcelas de 25 árboles cada una por triplicado para cada especie forestal. Durante la primavera del año 2016 se implantaron los árboles: sauce (clon 524/43 del híbrido *Salix matsudana x Salix alba*) y olivillo (*Eleagnus angustifolia*) seleccionados en función de las experiencias previas y disponibilidad local de material de vivero. Se riega diariamente con una dotación de aproximadamente 5L planta/día, 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. La caracterización del agua residual tratada y la de perforación se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1 Datos analíticos del agua residual tratada y de perforación utilizada en el ensayo

	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	-
RAS	5,5	9

\* CFI, 1991. Perforación J11 (41°19'S, 69°31'O) (\*\*) Lab UNC 5/15 y DPA

### Muestreos y procedimientos analíticos:

En el inicio del ensayo se tomaron muestras de suelo individuales por cada parcela forestal a cuatro profundidades cada 20 cm hasta 80 cm, en la línea de plantación y en la entrelínea. Se repitió el muestreo con la misma metodología a finales de otoño luego de cada temporada de riego. En este trabajo se evalúan los resultados obtenidos luego de la séptima temporada de riego (junio 2023), comparándolos con los valores iniciales.

En laboratorio las muestras se secaron al aire y tamizaron por malla de 2 mm y 0,5 mm, determinándose: pH en agua y conductividad eléctrica en una suspensión, relación 1:2.5; Materia orgánica por combustión húmeda (Walkley & Black) y fósforo disponible con la metodología Olsen (Sparks et al, 1996). El ensayo prevé el monitoreo anual de otro conjunto de variables edáficas que no son presentadas en este trabajo.

Para el análisis del crecimiento de los árboles se evaluó: supervivencia y diámetro a 10 cm de altura en 2016 repitiéndose la medición en marzo de 2024. Se decidió analizar el diámetro a

10 cm de altura dado que muchos de los ejemplares no tenían dimensiones suficientes para analizar Diámetro a la Altura del Pecho en el momento de la implantación.

#### Análisis de los datos

Para el análisis estadístico se realizaron análisis de variancia de los datos con el diseño en parcelas divididas y seleccionando como factor principal de interés para la comparación la fecha de muestreo (inicial y final), utilizando el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2017), verificándose el cumplimiento de los supuestos del ANOVA.

### RESULTADOS Y DISCUSION

La respuesta de la vegetación fue fuertemente dependiente de la especie. La supervivencia de los olivillos fue buena, tanto con el ART como la de perforación, mientras que la del sauce fue aceptable en el agua de perforación, pero muy baja en el ART. Los crecimientos en diámetro en cambio fueron significativamente mayores con el ART en ambas especies, siendo los del sauce los más elevados (Figura 1) (Azadeh et al, 2023; Mohsin et al, 2021).

Bajo las condiciones planteadas en el ensayo, la concentración de algas en suspensión en el ART en combinación con la arena y polvo que se movilizan por el viento sobre la superficie del suelo, generan el taponamiento reiterado de los orificios de goteo, generando la interrupción inadvertida del riego. El sistema radicular de los árboles bajo riego generalmente se desarrolla en relación con el bulbo húmedo, cuando el riego es suspendido inadvertidamente resulta en un rápido deterioro de las plantas, generando la muerte. Las condiciones desecantes del verano resultaron en este contexto determinantes en la supervivencia del sauce, especie más sensible al estrés hídrico (Doffo, 2019), pero los individuos que permanecieron en pie mostraron una excelente respuesta al agua con nutrientes. El manejo adecuado del sistema de riego entonces, es un aspecto clave del éxito de los planteos de reúso.

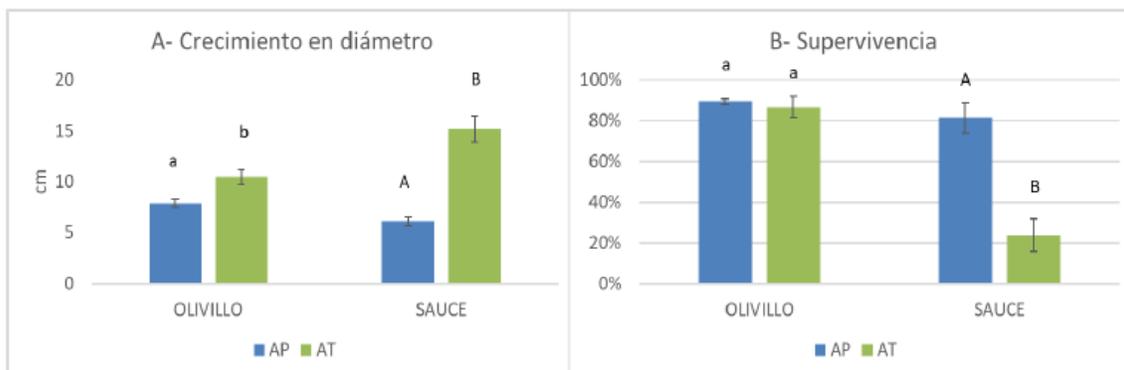


Figura1: Desempeño de las plantas de olivillo y sauce: A) diferencia de crecimiento en diámetro a los 10 cm de altura entre la plantación (2016) y junio de 2023. B) porcentaje de supervivencia, con riego de AP y AT. Se indican las diferencias significativas entre años, en mayúscula para AP y minúscula para AT.

En las variables de suelo, el factor determinante en la respuesta en la línea fue el agua de riego, ya que se observaron las mismas tendencias en ambas especies (Figura 2). El pH y la CE mostraron un comportamiento opuesto: en el ART el pH descendió y la CE se incrementó en hasta los 60 cm de profundidad, en el primer parámetro con diferencias estadísticamente significativas que no se repitieron en el segundo, producto de la gran variabilidad, pero con una tendencia clara al aumento. Estos resultados son coincidentes con los reportados en ensayos similares con otras especies (Pegoraro et al 2023; Cremona et al 2020) y pueden atribuirse a la oxidación biológica del amonio aportado por el ART y la consecuente liberación de protones, por un lado, y al aporte de sales del agua de riego para el caso de la CE. El AP también manifestó una tendencia a incrementar la CE, especialmente en el olivillo, aunque las diferencias no fueron significativas.

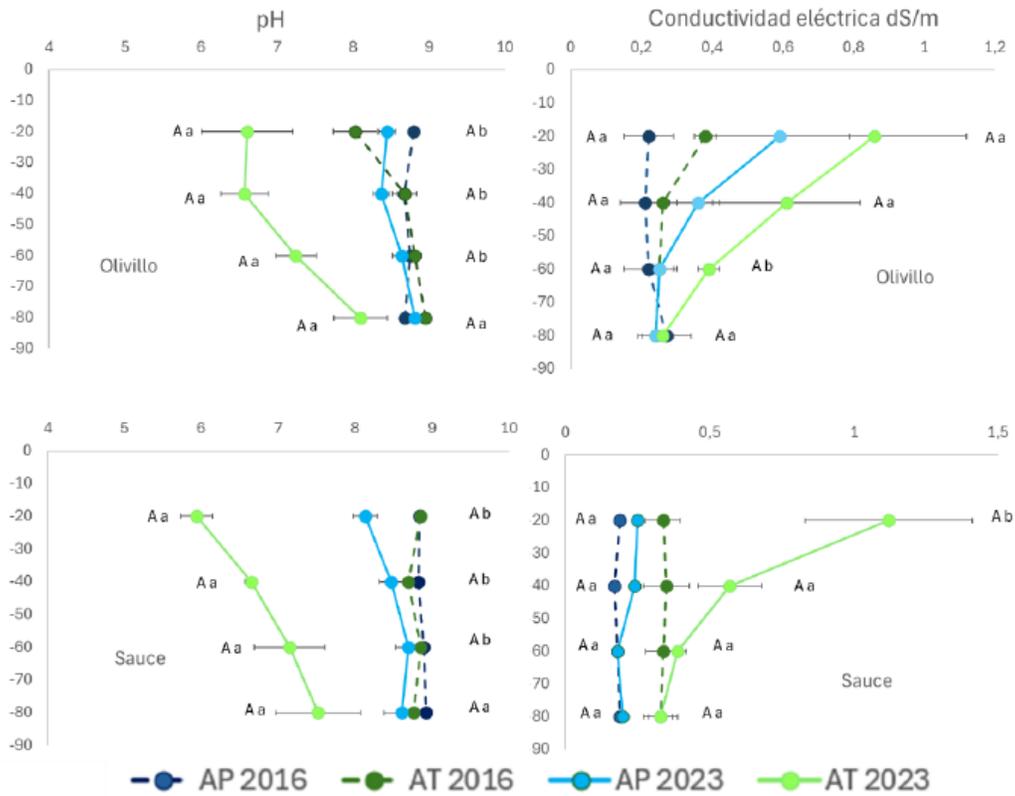


Figura 2. Valores de pH y conductividad eléctrica para Olivillo y Sauce valores iniciales (en líneas punteadas) y valores 2023 después de 7 temporadas de riego (líneas llenas) para agua de perforación (AP en azul) y Agua Tratada (AT en verde). Se indican las diferencias significativas entre años, en mayúscula para AP y minúscula para AT.

Los contenidos de MO se incrementaron con el riego con ART en ambas especies (Figura 3) hasta los 60 cm de profundidad, de acuerdo con lo esperado (Riat et al 2018), como consecuencia del aporte de la carga orgánica del agua y de la hojarasca de los árboles. Los valores de POIsen mostraron un incremento importante en superficie y significativo hasta los 60 cm en ambas especies (Figura 3), con un máximo absoluto de 54  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en una muestra a 0-20 cm. El incremento del P disponible es esperable en el riego con ART (Pegoraro et al, 2023, Cremona et al 2023) por lo que se recomienda su monitoreo constante, aunque estos valores están aún lejos de ser considerados un riesgo ambiental (Elliott and Jaswall, 2011).

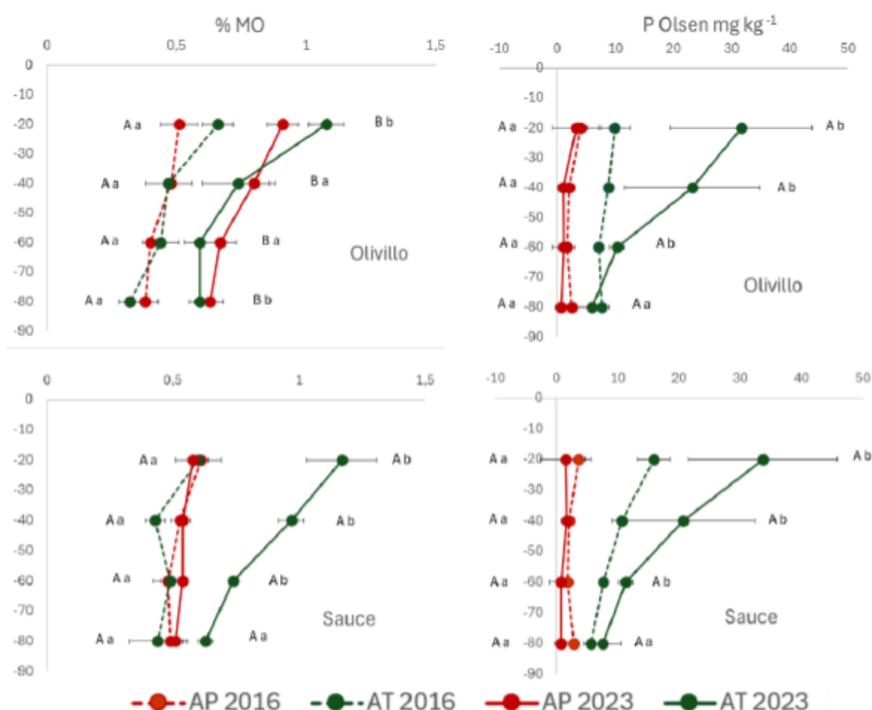


Figura 3. Valores de materia orgánica y fósforo disponible (Olsen) para Olivillo y Sauce: valores iniciales (en líneas punteadas) y valores 2023 después de 7 temporadas de riego (líneas llenas) para agua de perforación (AP en rojo) y Agua Tratada (AT en verde). Se indican las diferencias significativas entre años, en mayúscula para AP y minúscula para AT.

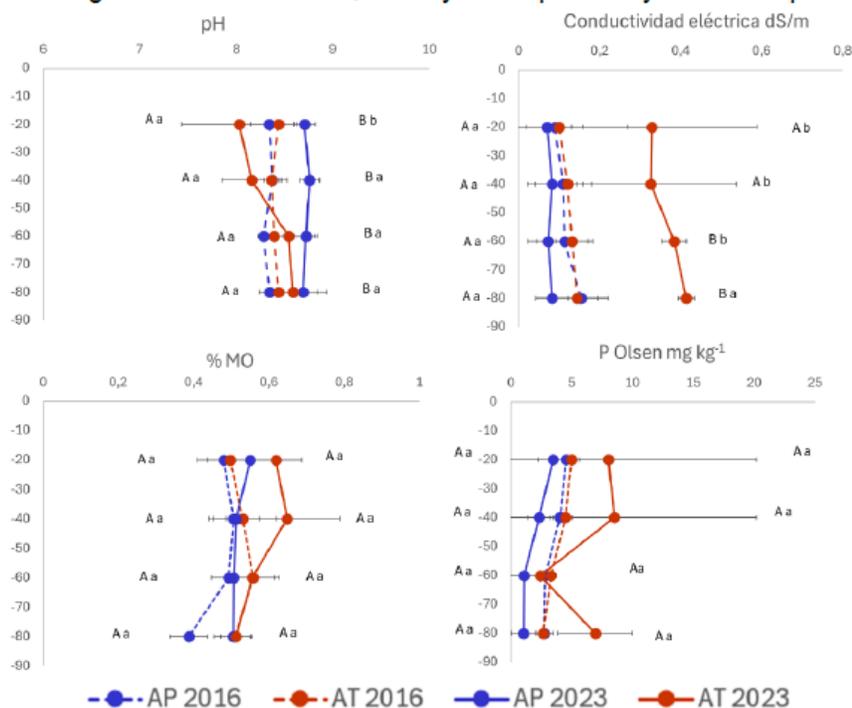


Figura 4. Valores de pH y conductividad eléctrica para la entrelínea de todas las parcelas: valores iniciales (en líneas punteadas) y valores 2023 después de 7 temporadas de riego (líneas llenas) para agua de perforación (AP en azul) y Agua Tratada (AT en verde). Se indican las diferencias significativas entre años, en mayúscula para AP y minúscula para AT.

En la entrelinea, a unos 150 cm de la línea de aplicación del agua de riego, se observaron descensos del pH e incrementos de la CE significativos en el riego con ART. Esto evidencia que a pesar de que se trata de suelos arenosos, el agua se mueve lateralmente, junto con los nutrientes y las sales. Esto es esperable ya que se aplica la misma lámina en forma constante a lo largo de la temporada, pero indica la necesidad de monitorear la movilidad de los elementos aportados con el ART. Es importante también destacar la variabilidad observada en los datos, que se asocia a la variabilidad de la aplicación del agua de riego, generadas por las dificultades encontradas en el método de aplicación.

## CONCLUSIONES

El riego con ART puede ser utilizado para el riego de especies forestales y obtener buenos crecimientos, aunque es fundamental lograr un manejo preciso del agua que evite taponamientos y con ello pérdidas de plantas. En el suelo es esperable encontrar respuestas positivas como el incremento de la materia orgánica, pero es necesario monitorear el incremento de la concentración de sales y algunos elementos como el P que pueden constituir un riesgo para el ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- Azadeh, S., Zalesny R. S., Calagari, M. (2023). Effects of urban wastewater application on growth, biomass, nutrition, and heavy-metal accumulation of *Populus nigra* L. "62/154," *P. alba* L. "20/45," *P. euramericana* (Dode) Guinier "92/40," and *Salix excelsa* S.G. Gmel grown in heavy-metal contaminated soil. *Int. Journal of Phytoremediation*. Volume 25.
- Cremona, M.V., M.C. Riat, V. Velasco. (2022). Efecto del riego con agua residual tratada en el pH y la acumulación de sales. XXVIII CACS. Buenos Aires. Argentina.
- Cremona, M.V., Riat, M., Catenazzo, C., Velasco, V. y Magnin, S. (2023) Reutilización de ART para riego: evaluación del impacto de la acumulación de fósforo en el ambiente. CONAGUA Buenos Aires. Agosto.
- Doffo, G. (2019) Respuestas al estrés por inundación y sequía en clones de álamo y sauce con posible uso para dendroenergía. Proyecto 11/A292 2019 IFIVE UNLP.
- Elliott, H.A. and Jaiswal, D. (2012) Phosphorus Management for Sustainable Agricultural Irrigation of Reclaimed Water. *J. Environ. Eng.* 2012.138:367-374
- Godagnone R. E., Bran D. E. (2009). Inventario Integrado de los RRNN de la Provincia de Río Negro. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Provincia de Río Negro.
- Hamilton A., Versace V., Stagnitti F., Li P., Yin W., Maher P., Hermon K., Premie R.2 & Ierodiaconou D. (2006). Wastewater Reuse and the Environment: Reaping the Benefits by Minimising the Impacts. *Proceedings of the 2006 IASME/WSEAS Int. Conf. on Water Resources, Hydraulics & Hydrology, Chalkida, Greece, May 11-13 (pp71-80)*
- Lal R., Stewart B. A., Eds. (2017). *Soil Phosphorus*. Series: *Advances in Soil Science* CRC Press Taylor & Francis Group
- Mastrantonio L. (2006). Reuso Agrícola de Efluentes Industriales y Cloacales: Efecto en la Calidad de Agua y Suelo. Departamento General de Irrigación de la Provincia de Mendoza.
- Mohsin M, Kaipainen E, Salam MMA, Evstishenkov N, Nawrot N, Villa A, Wojciechowska E, Kuittinen S, Pappinen A. (2021) Biomass Production and Removal of N and P from Processed Municipal Wastewater by *Salix schwerinii*: *Water*. 2021; 13(16):2298.
- Pegoraro, V., Bachmeier, O., Lorenzon, C., Conde, B., Ortiz, J., Barbosa, A., & Zubillaga, M. (2023). Cambios en los atributos del suelo por aplicación continua de efluente porcino. *Ciencia del Suelo*, 41(2), 261–272.
- Riat M., Cremona M.V, Velazco V., Catenazzo, C., Sánchez M. y Espert N. (2022) Algunos efectos del riego con agua residual tratada en suelos de Ingeniero Jacobacci (Río Negro) XXVII CACS. Corrientes, Argentina
- Riat, M., Cremona, M.V., Tanzer, L., Velazco, V., Sanchez, M. y Magnin, S. (2018) Nutrients enrichment in soils irrigated with treated wastewater. *Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Rio de Janeiro, Brasil*.
- Sparks, D. L., (1996). Ed. *Methods of soil analysis: Chemical methods*. SSSA, Madison, p.1275-1307.