



EVOLUCIÓN DEL NITROGENO EDÁFICO BAJO RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN INGENIERO JACOBACCI, RIO NEGRO.

Catenazzo C.¹, M.C. Riat^{1*}, M.V. Cremona², A. Arroyo¹, V. Velazco²

¹Universidad Nacional de Río Negro Instituto de Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD);

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

* Mitre 630 San Carlos de Bariloche Río Negro.

RESUMEN

La reutilización de agua residual tratada (RART), es de especial interés en regiones áridas y semiáridas, dado que se aprovechan agua y nutrientes en ambientes donde su disponibilidad para actividades humanas es muy limitante. Existen variables ambientales que es necesario monitorear, entre ellas la evolución de distintas formas de nitrógeno. El objetivo del trabajo fue plantear un balance de Nitrógeno (N) y evaluar su ajuste. También analizar la acumulación y el movimiento del nitrógeno inorgánico dentro del perfil. Se trabajó sobre un ensayo instalado desde 2016 en Ingeniero Jacobacci, en el que se compara el riego con agua residual tratada (ART) con el riego con agua de perforación (AL), en dos tipos de vegetación: cultivo de alfalfa (A) y campo natural (CN). En cada parcela, se midió el N en suelo al inicio del ensayo y luego de la segunda temporada de riego, se cosecho biomasa en tres ocasiones por temporada y se registró la lámina entregada considerando el contenido de N del ART. Se planteó una ecuación de balance teórica y los resultados se cotejaron con las mediciones. Los mismos, mostraron que efectivamente existe acumulación de nitrógeno en las parcelas regadas con ART (diferencias significativas, $p < 0,05$). La correlación de Pearson y regresión lineal muestran que la estimación planteada para todos los factores (Tipo de agua y Vegetación), funciona aceptablemente ($r = 0,66$; $p = 0,02$; $R^2 = 0,44$; $n = 12$) para la cantidad de datos utilizados, evidenciando una mejora notoria al analizar los datos por tipo de vegetación ($r > 0,9$; $R^2 > 0,82$; $n = 6$). Se concluye además que es necesario revisar algunos supuestos teóricos utilizados en la ecuación, y ajustar el modelo para procesos como la fijación biológica en leguminosas. El análisis de Amonio y Nitrito en profundidad, mostró una relación positiva entre el aumento del Nitrógeno total (Nt) en estrato 0-40 cm y NO_3^- en profundidad (60-80 cm) y los valores no superan los valores de riesgo ambiental (WHO, 2006).

Palabras clave: balance de nitrógeno, lixiviación, nitrógeno mineral.

INTRODUCCIÓN

La recuperación de ART para su posterior reutilización, implica un proceso de captación y tratamiento adecuados, que permitan el cumplimiento de criterios de calidad necesarios y exigibles de acuerdo a la propuesta de reutilización. La reutilización tiene como objetivo cerrar el ciclo hidrológico a escala local, reciclando agua y nutrientes, 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 para evitar el vuelco de efluentes domésticos a cuerpos hídricos receptores y resulta de especial interés en áreas donde la escasez de agua afecta las actividades humanas (Faleschini, 2016).

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 (Bixioa, et. al., 2006). En Argentina, la reutilización de efluentes tratados para riego ha sido abordada por algunas provincias. En el norte de Patagonia, Río Negro a través de



la autoridad de aplicación (DPA) se sumó a esta propuesta desde el 2012 y particularmente en Ing Jacobacci se instaló un ensayo en el marco de cuatro proyectos de la UNRN e INTA.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el enriquecimiento de las diferentes formas de Nitrógeno en el suelo regado con agua residual tratada y su potencial movimiento en el suelo. Como objetivos específicos se propuso, confeccionar y validar un modelo de balance de Nitrógeno para la reutilización de aguas residuales tratadas en cultivos forrajeros en Ing. Jacobacci (Río Negro) y analizar la acumulación y el movimiento del nitrógeno inorgánico dentro del perfil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del ensayo de RART para riego

La localidad de Ing Jacobacci ubicada en el centro Oeste de la Pcia. de Río Negro, se encuentra en una zona de planicies, mesetas y valles intermedios, con precipitaciones cercanas a los 150mm anuales donde la escasez de agua es crítica aun para el consumo humano. La vegetación natural es fundamentalmente xerófila exceptuando los valles y mallines en donde se encuentra vegetación herbácea que es fuertemente pastoreada en la mayoría de los casos. Existe en la localidad una planta de tratamiento de efluentes mediante lagunas facultativas con dos aireadores superficiales de baja potencia, la cual trata los efluentes generados en un barrio de 250 familias a oeste de la ciudad. En el año 2011 iniciaron diferentes estrategias de reutilización de efluentes tarados, en una parcela forestal. En el 2016 se instaló un ensayo dentro del predio de la planta de tratamiento de efluentes (41°19'21.89"S, 69°30'37.59"O) A través de un sistema de bombeo que se activa por nivel, se carga un tanque auxiliar de 2500 L ubicado a 270 m y 7 m por sobre la cota de la laguna de tratamiento. Paralelamente se cuenta con una perforación de agua freática dentro del mismo predio con la que, por medio de una bomba centrífuga se carga otro tanque de igual volumen contiguo al anterior. De ambos tanques se distribuye el agua de riego hacia las parcelas de cultivo. El diseño experimental se realizó en parcelas divididas donde el tipo de agua utilizada para riego es el factor principal, mientras que dentro de las parcelas principales se aleatorizó el tipo de vegetación, implantando parcelas de 2 x 3 m por triplicado para cada una. La alfalfa se sembró a fines de febrero de 2016. El tratamiento de campo natural consistió en la remoción de la vegetación natural, permitiendo la proliferación de la vegetación espontánea, comenzando el riego en la misma época que la alfalfa. La aplicación de agua se realiza por melgas y el agua es conducida por gravedad en tuberías hasta la cabecera de las mismas. Se riega diariamente con una lámina de aproximadamente 10 mm. 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 ₂ /ml)	358	-
Fósforo total (mgP/l)	7,1	-
Nitrógeno total (mgN/L)	25	-
Nitratos mg/L	-	7
RAS	5,5	9

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

Toma de muestras y análisis de laboratorio

En el inicio del ensayo se tomaron muestras de suelo simples, por parcela y a tres profundidades (0-20;20-40 y 60-80), 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 segunda temporada de riego, comparándolos con los valores iniciales.

En laboratorio las muestras se secaron en estufa a 40°C y tamizaron por malla de 2 mm, determinándose sobre cada una de ellas, Nitrógeno total (NT_{kj}) con método Kjeldahl (Sparks et al, 1996), Nitrógeno inorgá-



nico, amonio (NH_4) y nitrato (NO_3), con Destilación de Bremner. Para estos dos últimos análisis se utilizó la muestra tamizada por 0,5 mm. Con las muestras de material vegetal cosechado, se cuantificó, peso seco de biomasa anual por parcela y %Nitrógeno en biomasa con método (Sparks et al, 1996).

Balance de nitrógeno

Para evaluar las variables que influyen en la dinámica del Nitrógeno en el sistema planta-suelo, el punto de partida fue adaptar la ecuación general de balance de Nitrógeno total (Nt) en suelo (Álvarez, 2015). Se determinaron supuestos de análisis y se planteó la siguiente ecuación general de balance de Nt Estimado para el suelo del sitio de estudio.

$$Nt \text{ final Estimado} = Nt \text{ inicial} + Nt \text{ aportado} - Nt \text{ extraído}$$

Donde:

$$Nt \text{ inicial (2016) [Kg ha}^{-1}] = [(\%NKj \times 100) \times (\text{Peso de capa arable})] + NO_3^- \text{ inicial}$$
$$Nt \text{ aportado [Kg ha}^{-1}] = [\text{Volumen de riego por parcela} \times (\text{NKj en agua} + NO_3^- \text{ en agua})]$$
$$Nt \text{ extraído [Kg ha}^{-1}] = (\text{Peso seco} \times N \text{ en hoja})$$

Las temporadas de análisis fueron 2016/2017 y 2017/2018. Se unificaron los datos de estratos superiores de suelo, contemplando un sistema suelo-planta al estrato 0-40 cm, delimitando la zona de mayor desarrollo radicular. Se consideraron despreciables, la fijación biológica característica de la Alfalfa, y las pérdidas de Nitrógeno por volatilización, desnitrificación y lixiviación. También se consideró nulo, la concentración de nitrógeno en agua de perforación.

Procesamiento de datos y análisis estadístico

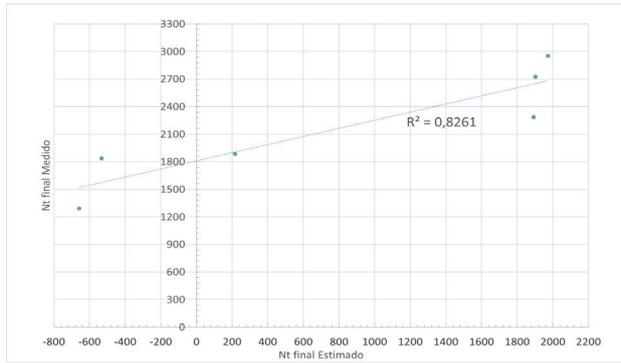
Para estudiar la relación de ajuste, entre el Nt final Medido (NtfM) y el Nt final Estimado (NtfE), se realizó un análisis de correlación entre ambas variables, aplicando el Coeficiente de Pearson (r) y una regresión lineal (método de cuadrados mínimos). Para evaluar la significancia estadística de los resultados obtenidos (medición y estimación), se realizó un análisis de la varianza (ANOVA). Se planteó un modelo acorde al diseño experimental del ensayo, de parcelas divididas. Siendo "Tipo de agua" factor principal, "parcelas" como estructura anidada en el factor principal, y "Vegetación" y "Tipo de agua" como interacción bifactorial. Se aplicó prueba de Tukey para determinar diferencias significativas entre pares de tratamientos. Se utilizó el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

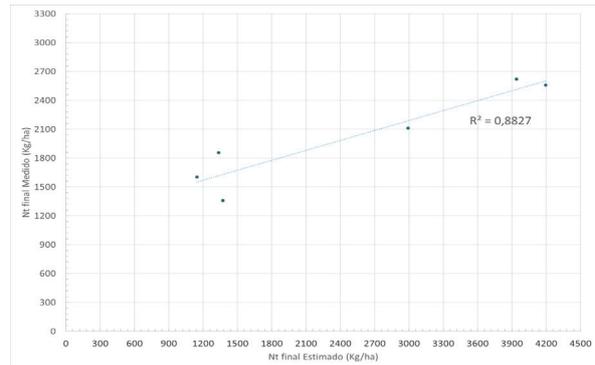
Ajuste del modelo (Correlación y regresión lineal)

Los resultados de aplicar la correlación de Pearson y la regresión lineal entre las estimaciones y mediciones de Ntf indican que el modelo presenta una correlación razonable y significativa ($r=0.66$; $p=0.02$) y un ajuste aceptable ($R^2=0.44$) para todos los datos en conjunto ($n=12$), pero que ambos parámetros mejoran notoriamente si los datos se agrupan por tipo de vegetación ($r>0.9$; $R^2>0.82$ y $r>0.9$; $R^2>0.88$) (Figura 1a, 1b) y mejoran si se clasifican por tipo de agua.





1a



1b

Figura 1a –Regresión, línea de tendencia y R2, Ntf E vs. Ntf M. – Alfalfa (AT y AL).
1b – Regresión, línea de tendencia y R2, Ntf E vs. Ntf M – Campo natural (AT y AL).

Éstos últimos análisis, son en base a pocos datos (n=6) como para ser concluyentes, pero indicarían que el tipo de vegetación con la que se trabaja es relevante para plantear un modelo de dinámica de nitrógeno en los sistemas de reúso. Los desfases entre lo estimado y lo medido, pueden superarse al igual que en otros trabajos de balance de N en el sistema suelo-vegetación, donde se utilizaron una cantidad de parámetros similares a los utilizados en este trabajo (Cichota et al., 2010).

Análisis del comportamiento del amonio y el nitrato

Con el fin de evaluar el movimiento y la posibilidad de acumulación de Nitrógeno, en el suelo regado con ART, se caracterizó la concentración de Amonio y Nitrato en todo el perfil (0-80 cm) al final de la segunda temporada de riego (Figuras 2a y 2b).

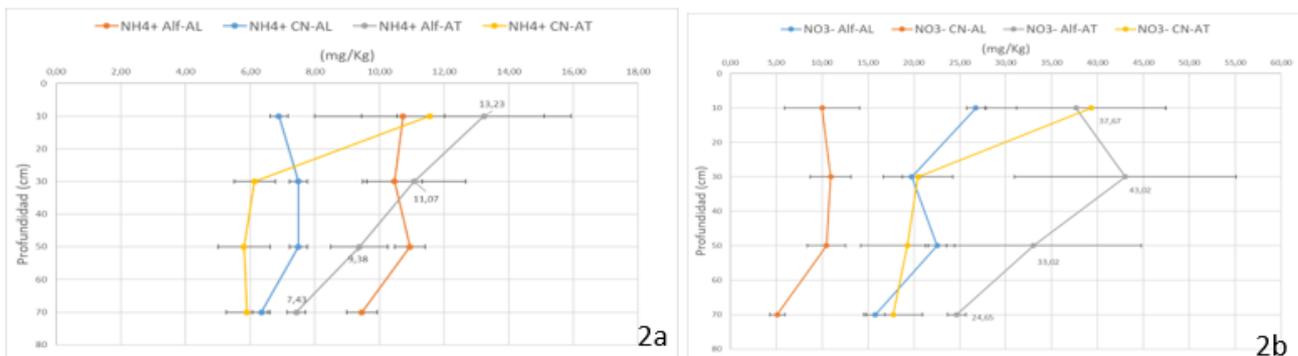


Figura 2a: NH_4^+ final en perfil completo (AT y AL), 2b: NO_3^- final en perfil completo (AT y AL).

Como primera observación se puede destacar que en ningún caso se encontró mayor concentración de NH_4^+ o NO_3^- ; en el último estrato (60-80 cm) respecto del primero (0-20 cm). Esto es coincidente con investigaciones precedentes, las cuales muestran que el aporte de N a través de una enmienda orgánica, puede reflejar, en períodos medios (mínimo 4 años), una menor acumulación de nitrato y menos pérdidas por lixiviación, respecto a las prácticas agrícolas convencionales con aplicación fertilizantes (Dalal, 1992; Miller et al., 2008). Para todos los tratamientos, en este diseño experimental, se detectó mayor concentración de Nitrato (5,12 a 43,02 mg Kg⁻¹) respecto del Amonio (5,81 a 13,23 mg Kg⁻¹).

La tendencia que se observa del análisis de estas formas de Nitrógeno en profundidad (40-60 cm y 60-80 cm) muestran que, comparando por factor Vegetación, el Amonio siempre es mayor en Agua de perforación



(Figura 2a) y el Nitrato es mayor en agua tratada (Figura 2b). Sin embargo, los valores de NO_3^- entre tipo de tratamiento (AL-AT) para todo el perfil mostraron que las diferencias de pérdidas en el sistema son similares o ligeramente más pequeñas en cultivos con riego convencional a los cultivos de leguminosas y tratamiento orgánico (Stopes et al., 2002). A su vez, también se comprueba que el proceso de lixiviación en cultivos de este tipo (Figura 2b), deja de ser importante a partir de los 60 cm de profundidad (Cristobal-Acevedo et al., 2011). Dado que se contaba con datos iniciales y finales (2016 y 2018 respectivamente) de NH_4^+ y NO_3^- , se calculó su variación y se realizó análisis de varianza y prueba de Tukey (Figura 3a), los resultados no son estadísticamente significativos ($p > 0,05$) entre tratamientos.

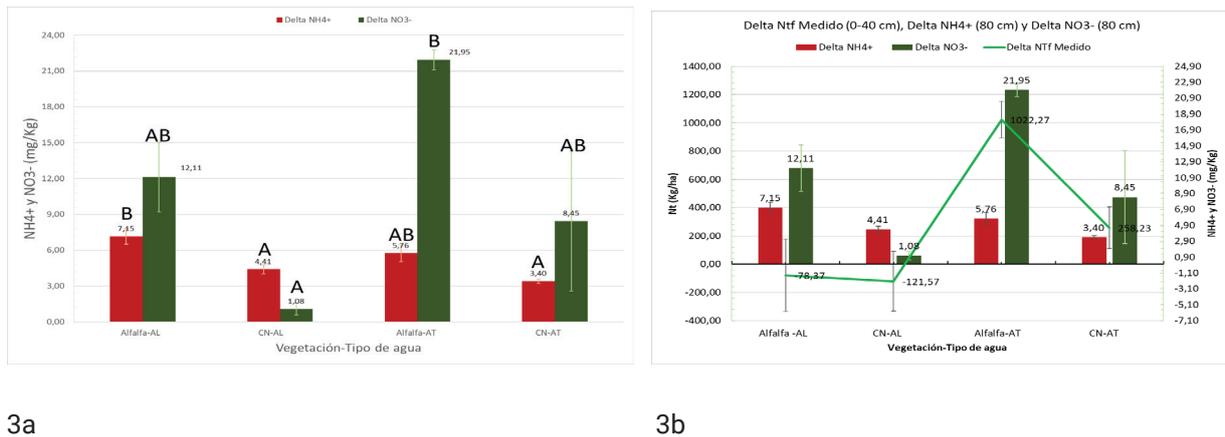


Figura 3a: Variaciones de NH_4^+ y NO_3^- entre final e inicial (60-80 cm) y resultados de Prueba de Tukey (Letras diferentes indican diferencias significativas). 3b: Delta Ntf M (0-40 cm), y variaciones de NH_4^+ y NO_3^- (60-80 cm).

Ante este resultado estadístico, se incorporó a este análisis el contenido de Nt final (0-40 cm) para la combinación de factores Tipo agua*Vegetación, se encuentra una relación positiva entre la variación de Nitrógeno total y la de Nitrato (60-80 cm) (Figura 3b).

Cabe destacar que los valores absolutos máximos de concentración de nitrato, en ningún caso superan las 45 ppm, y sus promedios no superan los 25 ppm, como tope máximo registrado en el estrato más profundo del perfil analizado (valor máximo 50 ppm –WHO, 2006).

CONCLUSIONES

Siendo ésta la primera etapa de confección y validación de una ecuación de balance de nitrógeno, los resultados son aceptables. Los resultados obtenidos sugieren, revisar los parámetros considerados nulos, en especial fijación biológica de N y hallar cuáles son los términos de la ecuación de balance por modificar, o cuantificar más precisamente. En el mismo sentido, se recomienda plantear y ajustar el modelo en forma diferenciada para especies fijadoras.

Al evaluar el comportamiento de las diferentes formas de Nitrógeno inorgánico presentes en los perfiles de suelo en diferentes profundidades, se observan aumentos de la concentración de nitrato, asociados al aumento de Nitrógeno total, más relevantes en las parcelas de Alfalfa, sin ser estadísticamente significativamente (según prueba de Tukey).

En el caso de estudio, identificar la relación positiva entre el aumento de la concentración de nitrato en profundidad, y de Nitrógeno total en el suelo (en el estrato de influencia radicular), permitió ajustar los parámetros que requieren un monitoreo más ajustado.

Finalmente, el modelo puede predecir en el corto plazo el enriquecimiento de N en el suelo y diseñar sistemas de monitoreo que permitan minimizar los impactos ambientales negativos de este tipo de práctica.



AGRADECIMIENTOS

A Antonio Cayumán, por su trabajo en el mantenimiento y cuidado del ensayo. Al DPA, 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

- Bixio D., C. Thoeve, J. De Koning, D. Joksimovic, D. Savic, T. Wintgens & T. Melin. 2006. Wastewater reuse in Europe. *Desalination* 187 (2006) 89–101
- Cichota R., H. Brown, V.O.Snow, D.M. Wheeler, D. Hedderley, R. Zyskowski & Thomas S. 2010. A nitrogen balance model for environmental accountability in cropping systems. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38:3, 189-207. DOI: 10.1080/01140671.2010.498401
- Cristóbal-Acevedo D., M. E. Álvarez-Sánchez, E. Hernández-Acosta & R. Améndola-Massiotti. 2011. Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, vol. 29, núm. 3, pp. 325-332 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Dalal, R. C. 1992. Long-term trends in total nitrogen of a vertisol subjected to zero-tillage, nitrogen application and stubble retention. *Australian Journal of Soil Research*. DOI: 10.1071/SR9920223
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W.Robledo. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Faleschini, M. 2016. Estrategias, dificultades y beneficios en la aplicación del reúso del agua tratada en tres municipios de la Patagonia. IFRH.
- Fernández-Pascual, M., N. de María & M.R. de Felipe 2002. Fijación biológica de nitrógeno: Factores limitantes. *Ciencia y Medio Ambiente – CCMA-CSIC*.
- McNeill, A.M., C. Zhu & I.R.P. Fillery. 1997. Use of in situ ¹⁵N-labelling to estimate the total below-ground nitrogen of pasture legumes in intact soil-plant system. *Australian journal of agricultural research*. DOI:10.1071/A96097-ISSN: 0004-9409
- Miller, P. R., D. E. Buschena, C. A. Jones & Holmes J. A. 2008. Transition from intensive tillage to no-tillage and organic diversified annual cropping systems. *Agronomy Journal*. 100(3). DOI:10.2134/agronj2007.0190
- Stopes, C., E. I. Lord, L. Philipps & Woodward. L. 2002. Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice. *Soil Use Manage*. 18: 256-263.
- WHO. 2006. Guías para la calidad de agua potable. Volumen 1: Recomendaciones. Tercera Edición.

