



## RIEGO DE EUCALYPTUS GRANDIS CON AGUAS RESIDUALES URBANAS EN ENTRE RÍOS: MODIFICACIONES FÍSICOQUÍMICAS EN EL SUELO

Tesón; Natalia<sup>1</sup>; Larocca, Federico<sup>2</sup>; Donna, Franco<sup>3</sup>; Dalla Tea, Fernando<sup>4</sup>; Merani, Víctor<sup>3</sup>; Larrieu, Luciano<sup>3</sup>; Ferro, Daniel<sup>3</sup> y Millán, Guillermo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INTA EEA Concordia – UTN F.R. Concordia . Contacto: [teson.natalia@inta.gob.ar](mailto:teson.natalia@inta.gob.ar)

<sup>2</sup> UTN Facultad Regional Concordia. Grupo LAR. Contacto: [federicol1968@gmail.com](mailto:federicol1968@gmail.com)

<sup>3</sup> UNLP Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Contacto: [labeledafo@agro.unlp.edu.ar](mailto:labeledafo@agro.unlp.edu.ar)

<sup>4</sup> FORESTAL ARGENTINA S.A. Contacto: [fernando.dallatea@masisa.com](mailto:fernando.dallatea@masisa.com)

### RESUMEN

La reutilización de aguas residuales para el riego de especies forestales es una alternativa para complementar el tratamiento secundario de efluentes que evita la contaminación de los cauces receptores. Sin embargo, es importante evaluar los cambios físico- químicos que se producen en el suelo a lo largo del tiempo. El objetivo del presente trabajo fue analizar la variación de parámetros fisicoquímicos en un suelo cuarzipsament regado con efluentes tratados bajo cultivo de *Eucalyptus grandis*. Se seleccionaron como variables a analizar: pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), cationes en solución y la relación de adsorción de sodio (RAS). En una parcela de cuatro años de edad y con dos años de riego continuo, se realizó el muestreo de suelo a cinco profundidades (0 a 20; 20 a 40; 40 a 60; 60 a 80 y 80 a 100 cm) y tres repeticiones. Los tratamientos analizados fueron con riego sobre la línea, con riego en la entrelínea y sin riego. Se observó que el pH se reduce en la línea de riego hasta una profundidad de 40 cm, contrariamente a lo esperado. La CE y RAS se incrementan en la línea de riego hasta los 60 cm, el aumento no alcanza valores críticos para el crecimiento del cultivo. El contenido de nitratos aumenta en la línea de riego, con una tendencia similar a la CE y la RAS. Se observó un incremento de los iones móviles a partir de los 80 cm que coincide con la presencia de una capa arcillosa. La concentración de amonio se incrementa en la línea de riego en el estrato superficial y a partir de los 80 cm. El fósforo disponible se incrementa en las parcelas con riego en las profundidades muestreadas. Hasta el momento ninguno de los parámetros analizados alcanza valores críticos para el cultivo ni para el ambiente edáfico.

**Palabras clave:** eutrofización, sodificación, monitoreo.

### INTRODUCCIÓN

La utilización de efluentes domésticos tratados para el riego de especies forestales es una práctica que ha ido en aumento en los últimos años tanto en Latinoamérica como en nuestro país. El tratamiento de las aguas cloacales mediante lagunas de estabilización es un método ampliamente difundido en comunidades pequeñas o medianas, de climas templados con disponibilidad de tierras para su instalación. Este método tiene muchas ventajas como el bajo mantenimiento, la simplicidad de su manejo y la poca energía que requiere. Sin embargo, cuando posteriormente a su tratamiento los efluentes son volcados a cursos de aguas pueden ocasionar problemas ambientales como la eutrofización de las aguas debido a su alta concentración de nutrientes (Pizzolon *et al.*, 1997). Por otra parte, las especies forestales cultivadas en nuestra zona presentan altas tasas de crecimiento asociadas a un alto requerimiento de recursos (energía, agua, nutrientes, etc.). Paradójicamente, algunos de los principales nutrientes requeridos por las plantaciones, como el fósforo y el nitrógeno, son vertidos como se mencionó anteriormente a las aguas superficiales (ríos, arroyos, etc.). La reutilización de las aguas residuales para el riego presenta numerosas ventajas entre las que se destacan la conservación de los recursos hídricos y el aporte continuo de nutrientes y agua para las plantas (Andrade *et al.*, 2004; Khouriet *al.*, 1994). La localidad de Colonia Ayuí se encuentra ubicada en el perillago de la represa de Salto Grande. Cuenta con aproximadamente 3000 habitantes y los efluentes cloacales eran vertidos después del tratamiento secundario al lago de la Represa Salto Grande. En los últimos años han ocurrido frecuentes floraciones de algas nocivas (FAN). Para contribuir a mejorar la calidad de las aguas del lago se desarrolla el presente proyecto en el que se reutilizan los efluentes para irrigar una plantación. Los objetivos del presente trabajo son evaluar las modificaciones que se producen en las características fisicoquímicas del ambiente edáfico y la dinámica de los nutrientes en el perfil de suelo. Asimismo, a partir del análisis de dichos parámetros se busca generar pautas para el monitoreo de sistemas de tratamiento de efluentes domésticos con destino al riego de forestaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del ensayo

El estudio se realiza en la localidad de Colonia Ayuí, Departamento Concordia, Entre Ríos. La municipalidad cuenta con un sistema de tratamiento de aguas cloacales compuesto por un tratamiento primario de rejillas y un tratamiento secundario de lagunas de estabilización. El tratamiento secundario lo componen dos módulos de dos lagunas cada uno. La primera laguna es anaeróbica y la segunda facultativa. Originalmente, luego del tratamiento secundario los efluentes eran vertidos al lago de Salto Grande. Con financiación de la Secretaría de Ambiente de la Nación se instaló en el año 2014 una estación de bombeo y filtrado que permitió conducir los efluentes hasta el predio “La Lata” propiedad de la empresa MASISA a unos 2000 m de la descarga original. En un lote de 15 ha de “La Lata” se realizó una replantación en noviembre de 2013, con un distanciamiento de 3 m x 3 m. Posteriormente se instaló el sistema de riego por goteo en 12 ha, exceptuando 3 ha en la zona más baja. El distanciamiento entre los goteros es de 1 m, la distancia entre las líneas de goteo es de 3 m y el caudal de los goteros es de 3,6 l/h. En el presente trabajo se presentan resultados que corresponden al segundo año de monitoreo sobre los efectos en algunas propiedades fisicoquímicas del suelo.

### Muestreo y procesamiento del suelo

Se realizó el muestreo del suelo en dos parcelas, una con riego y la otra sin riego pertenecientes a la misma serie de suelo. En la parcela con riego se muestreó en la línea de riego (LR), siempre debajo del gotero. En esta parcela también se muestreó en la entrelínea (ELR), donde no hay colocado gotero de riego. En la parcela sin riego se realizó una sola muestra (SR) que incluye la línea y la entrelínea. Para cada situación se confeccionó una muestra compuesta de 10 submuestras, a 5 profundidades para cada situación. Las profundidades muestreadas fueron 0 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm, 60 a 80 cm y 80 a 100 cm. Se realizaron 3 repeticiones de cada situación. A partir de los 90 cm se observó una discontinuidad litológica, con un material arcilloso que actúa como limitante del drenaje.

Se procedió a separar en dos fracciones las muestras de suelo. A la primera fracción se la secó en estufa de circulación forzada a 40°C y se procedió a la desagregación y tamizado por 2mm y 0,5mm. Las muestras destinadas a la determinación de nitratos y amonio fueron mantenidas refrigeradas hasta su análisis. El acondicionamiento se realiza según norma IRAM-SAGPyA 29578.

### Determinaciones

En las muestras de suelo se realizaron las siguientes determinaciones:

pH: determinación potenciométrica relación suelo-agua 1:2,5, según metodología SAMLA-PROMAR (2004).

CE: conductividad eléctrica, método conductimétrico, determinado en el extracto de pasta de saturación, según metodología SAMLA-PROMAR (2004).

C.O.: carbono orgánico, determinado por el método de Walkley-Back, según norma IRAM 29571-2.

M.O.: materia orgánica calculada por % C.O. x 1,72.

Nt: nitrógeno total, determinación microkjhdhal, según metodología SAMLA-PROMAR (2004).

Cationes en el extracto: determinación de Ca y Mg por complejometría con EDTA y determinación de Na y K por fotometría de llama, según metodología SAMLA-PROMAR (2004).

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: nitratos y amonio determinados por destilación, método de Bremner, según SAMLA-PROMAR (2004).

RAS: relación de adsorción de sodio, calculada a partir de la concentración de cationes en el extracto de pasta de saturación según fórmula: 
$$RAS = \frac{Na}{[(Ca+Mg)/2]^{1/2}}$$

### Análisis estadístico:

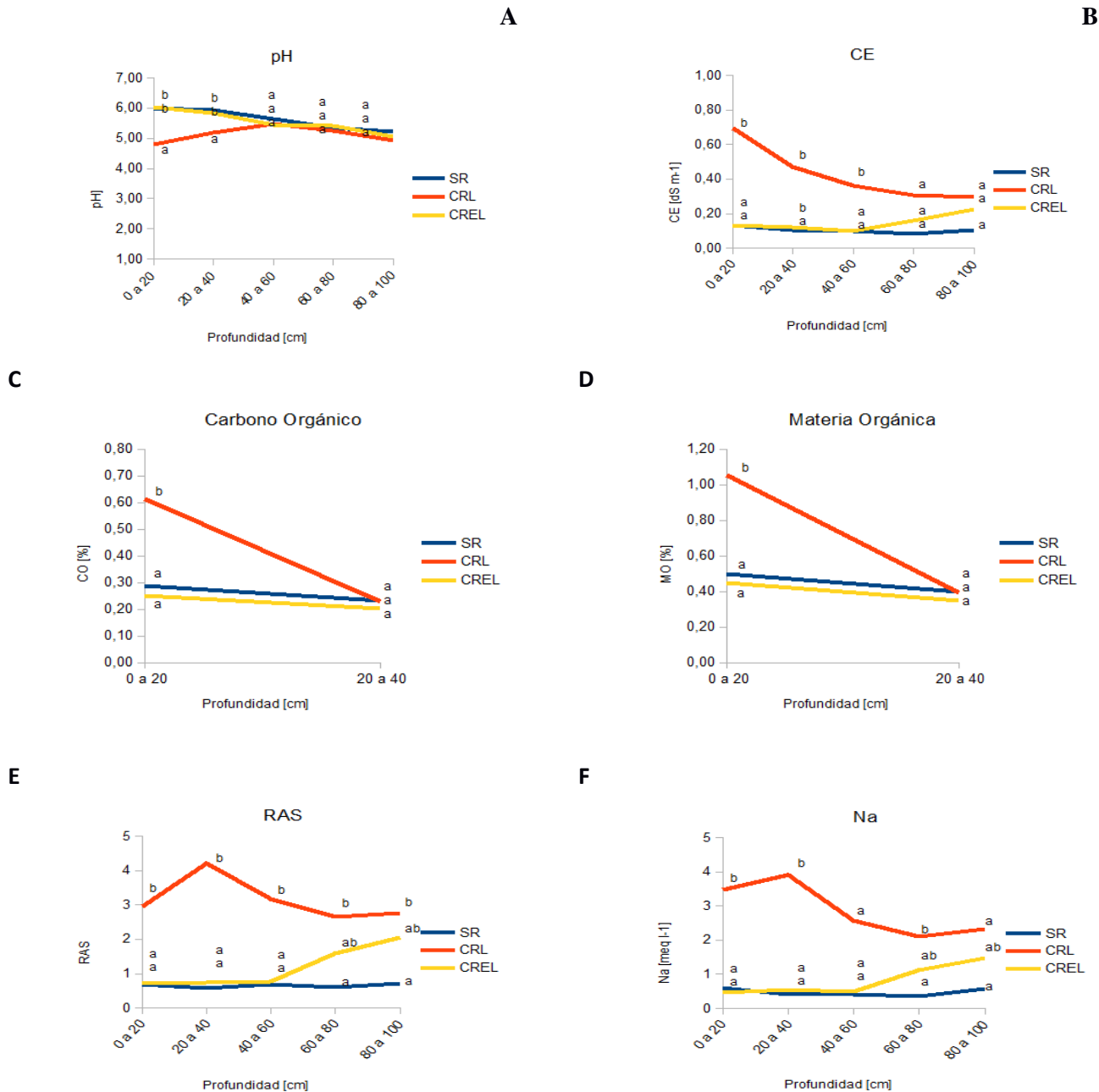
Con los datos obtenidos se realizó un Anova, si el p value es < 0,05 se realizó el test de Tukey para determinar diferencias significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades fisicoquímicas:

En la figura 1 se detallan los resultados obtenidos de los parámetros que modifican directa o indirectamente propiedades fisicoquímicas del suelo. Se observa que el pH disminuye hasta los 40 cm de profundidad en la parcela con riego solamente sobre la línea. Este comportamiento se contradice con lo esperado y con investigaciones precedentes (Munshower, 1994). El riego como práctica aporta iones, fundamentalmente Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup> y K<sup>+1</sup> que en presencia de

$\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^{-1}$  en ambientes de acumulación, tienen reacción alcalina. Asimismo el aporte de bases cambiables produce un incremento del porcentaje de saturación, que conlleva al aumento de pH y si el proceso continúa podría generar la alcalinización del suelo (Zapata Hernández, 2004). Si bien el suelo posee alta permeabilidad, se registra un aumento de la conductividad eléctrica (CE) y de la concentración de cationes (Ca, Mg, Na y K) lo que confirma una de ganancia. Sin embargo en la línea de riego debajo del goteo, el suelo se acidifica. Esto podría atribuirse al proceso de nitrificación que se produce en el suelo debido tanto al amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en solución, como al  $\text{NH}_4^+$  producido por la amonificación del N orgánico aportado por el riego. Al realizar el riego y en función de las características del ambiente edáfico se produce rápidamente la transformación de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ . Teniendo en cuenta que se liberan 4  $\text{H}^+$  por cada mol de N transformado, podría ser la principal fuente de acidificación. Otro proceso que contribuye a la acidificación es la mineralización de la materia orgánica. Los resultados indicarían que hasta el momento en el ensayo predominarían las fuentes de acidificación relacionadas a la carga orgánica del riego por sobre las acumulación de iones de reacción alcalina.



**Figura 1:** Determinación de pH (A), conductividad eléctrica (B), carbono orgánico (C), materia orgánica (D), RAS (E) y Sodio soluble en el extracto de pasta de saturación de suelo (F). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas  $p < 0,05$  por profundidad de suelo.



La CE evidencia un aumento superficial y una disminución gradual hasta la profundidad de 80 cm en la línea de riego. A la profundidad de 80 a 100 cm presenta un incremento para los 2 tratamientos con riego. Este incremento coincide con la existencia de una discontinuidad litológica a partir de los 90 cm, observada al momento del muestreo, que presenta materiales más finos y que actuaría como un impedimento del drenaje, ocasionando la acumulación de sales solubles a esta profundidad. La existencia de sales en la entrelinea indicaría que todo el perfil alcanzaría el estado de saturación en profundidad y podría indicar un movimiento transversal subsuperficial del agua. La relación de adsorción de sodio (RAS) presentó la misma tendencia que la conductividad eléctrica, aunque la entrelinea presenta un aumento a partir de los 60 cm. Si bien tanto la salinidad como la sodicidad se incrementan, ninguna alcanza valores críticos para el cultivo de *Eucalyptus grandis* en particular ni para la mayoría de los cultivos en general (Tzanakakis *et al.*, 2003)

El contenido de CO<sub>2</sub> y MO manifiestan un aumento debajo de la línea de riego. El aporte del efluente y un incremento de biomasa justificarían este incremento. Algunos trabajos indican que este tipo de efluentes sería de baja biodegradabilidad debido a una baja relación DBO/DQO (Yuan *et al.* 2012) por lo cual al ser incorporado elevaría los contenidos de CO<sub>2</sub> debido a su permanencia en el suelo. El proceso de fijación de C contribuiría con la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

### **Dinámica de los nutrientes.**

En la figura 2 se exponen los resultados obtenidos en el presente ensayo. Se registró un incremento del contenido de Nitrógeno total en el estrato superficial. El aporte del efluente produjo un aumento del 100% en la línea de riego, hasta los 20 cm de profundidad. Esto permitiría incrementar la reserva de N del suelo y por consiguiente su fertilidad actual y futura. Este tipo de suelo posee naturalmente bajo contenido de N total, por lo tanto, el efluente permite incrementar el abastecimiento y la fertilidad del perfil.

El fósforo disponible aumenta su concentración a las 2 profundidades analizadas en la línea de riego, alcanzando valores 7 veces más altos que en la entrelinea a valores y en la parcela testigo sin riego. El P se caracteriza por tener una baja movilidad en el suelo, sin embargo se evidencia un incremento en el estrato subsuperficial. La riqueza del efluente y la baja capacidad de fijación de P debido a la textura arenosa del perfil podrían favorecer cierta movilidad de dicho elemento. El incremento de la fracción disponible de fósforo indica que por un lado se incrementa la fertilidad fosforada del perfil y por otro que el suelo se comporta como un buen receptor y permite retener un nutriente que generaba la eutrofización de las aguas superficiales. Incrementos en los contenidos de P y N fueron observados por otros autores (Alves da Silva *et al.*, 2014; Rezapour *et al.*, 2012;)

Las formas inorgánicas de N analizadas en la línea de riego presentan un comportamiento similar. Alcanzan los valores más altos en los primeros 40 cm de profundidad, decrecen hasta los 80 cm. A partir de los 80 cm de profundidad vuelva a aumentar la concentración en coincidencia con la aparición de un horizonte de menor permeabilidad debido al cambio textural abrupto. Como se enunció anteriormente, esta acumulación en profundidad podría indicar una lixiviación profunda que de estos iones solubles. Este comportamiento ya fue descrito para otros iones en el presente ensayo. En la entrelinea se observa que las formas inorgánicas de N presentan concentraciones similares al testigo, aunque se evidencia una tendencia a incrementarse a los 80 cm que se explicaría por la presencia del horizonte descrito previamente.

Si bien existe un incremento en profundidad, se evidencia que el sistema permite reducir en sentido vertical las formas inorgánicas de N y ajustando el volumen de riego podría disminuirse la lixiviación y la saturación profunda del perfil. Ajustar el volumen de riego a los requerimientos del cultivo permitirá reducir aún más los riesgos ambientales, que ya fueron disminuidos al eliminar el vertido al lago.

El análisis de la dinámica de las bases indica que el riego provoca un incremento por debajo de la línea en superficie y una disminución gradual a medida que se avanza en profundidad. Entre las bases solo el Ca registró un incremento en profundidad a partir de los 80 cm. Rezapour *et al* (2012) observaron incrementos de K similares a los observados en el presente trabajo. Tanto Mg como K, si bien son iones solubles, no registraron incrementos en profundidad, lo que estaría indicando un comportamiento diferencial que debería ser estudiado.

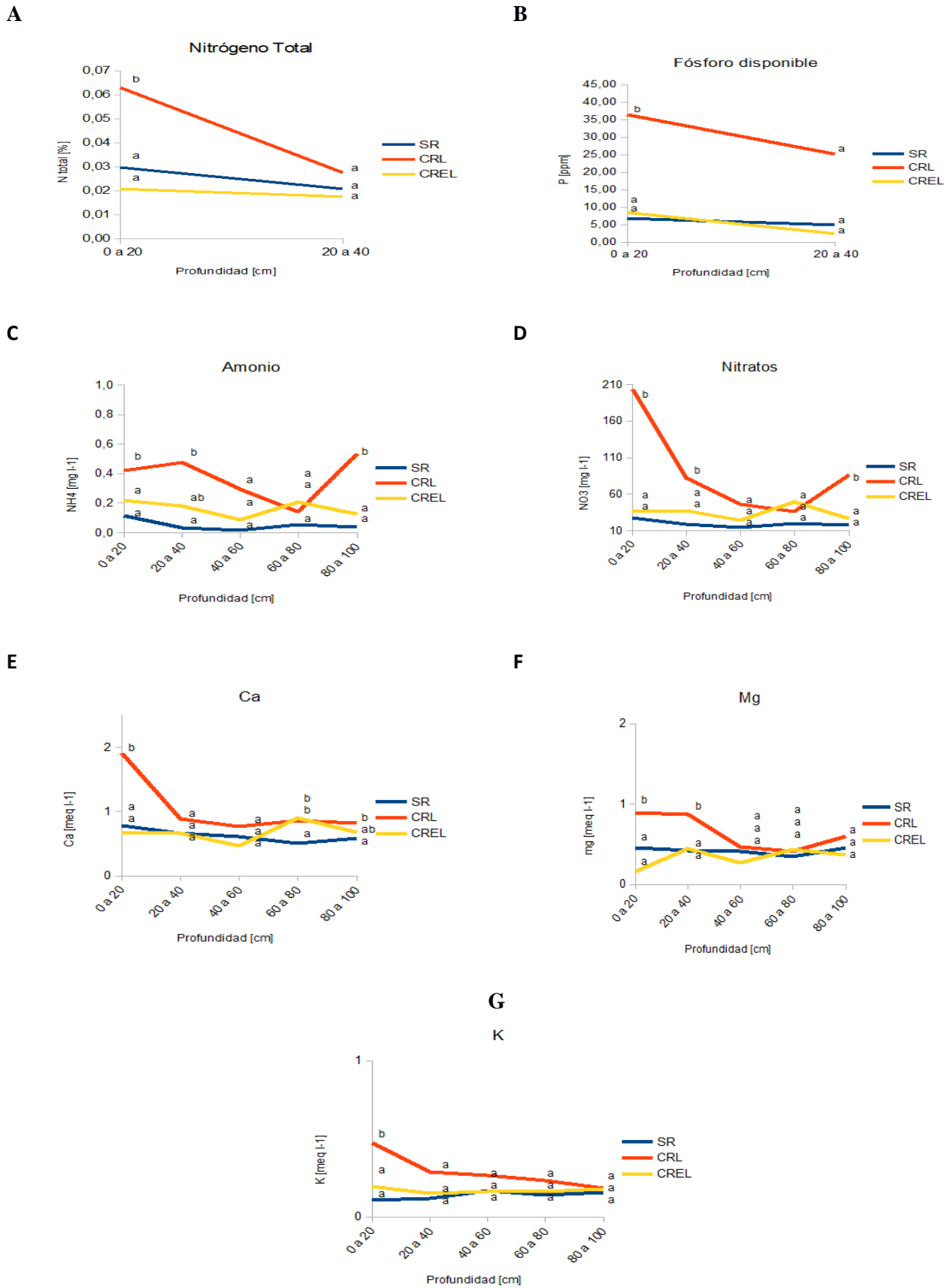
### **CONCLUSIONES**

En una práctica que lleva 2 años de implementación la salinidad y sodicidad si bien incrementaron su valor se encuentran en rangos de diagnóstico bajos a muy bajos y no serían limitantes para la mayoría de los cultivos.

La disminución del pH sería un parámetro a estudiar, fundamentalmente en función de predecir la evolución cuando cese la práctica del riego.

Se han incorporado al suelo nutrientes como fósforo, nitrógeno y bases que aumentan su factor capacidad, generando una reserva para futuros cultivos.

El incremento de algunos iones móviles en profundidad indica que debe regularse el caudal de riego para aumentar la eficiencia de la forestación en el uso de los nutrientes aportados y evitar posibles pérdidas por lixiviación de nutrientes.



**Figura 2:** Determinación de nitrógeno total (A), fósforo disponible (B), amonio (C) nitratos (D). Calcio (E), magnesio (F) y potasio (G) solubles en el extracto de pasta de saturación de suelo (F). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas  $p < 0,05$  por profundidad de suelo.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alves da Silva J.; M. Moraes Zanette & I Cechin I. 2014. The Influence of Municipal Treated Wastewater on Morpho-Physiological Characteristics of Eucalyptus Plants. *Water Air Soil Pollut* 225:2130 (1-8)
- Andrade, M.L., P. Marcet., M.L. Reyzábal & M.J. Montero. 2000. Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. *Edafología* 7-3: (21-29).
- Khouri, N.; Kalbernatten, J.M. & C.R. Basrtone. 1994. Reuse of wastewater in agriculture: A guide for planners. *Water and Sanitation Report*. UNDP – World Bank and Sanitation Program. Washington DC. 63 pp.
- Munshower, F. F. 1994. *Practical handbook of disturbed land revegetation*. Boca Raton: Lewis Publishers. ISBN: 1566700264. pp 265
- Pizzolon, L.; Prospero, C.; Silva, H. & G. de Emiliani, M. 1997. Inventario de ambientes dulceacuícolas de la Argentina con riesgo de envenenamiento por Cianobacterias. *Ing. Sanit. y Ambiental* 33: 26-34.
- Rezapour, S., Samadi, A. & H. Khodaverdilloo. 2012. Impact of long-term wastewater irrigation on variability of soil attributes along a landscape in semi-arid region of Iran. *Environ. Earth Science*, 67, (1713–1723).
- Tzanakakis V.E.; N.V. Paranychianakis; S. Kyritsis & A.N. Angelakis. 2003. Wastewater treatment and biomass production by slow rate systems using different plant species. *Water Science & Technology: Water Supply* 3-4 (185–192).
- Yuan, X., H. Sun & d. Guo. 2012. The removal of COD from coking wastewater using extraction replacement biodegradation coupling. *Desalination*, 289, (45–50).
- Zapata Hernández, R. 2004. *Química de la acidez del suelo*. UNAL, Colombia .pp 199
- SAMLA-PROMAR. 2004. *Sistema de apoyo metodológico para laboratorios de suelos y aguas*. SAGyP.