



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

TESIS DE GRADO

REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN ENTRE RÍOS: MODIFICACIONES QUÍMICAS EN EL SUELO DE UNA PLANTACIÓN.

Modalidad: Una investigación en cualquiera de los campos de las Ciencias Agrarias y Forestales.

- ❖ **Alumno:** Donna, Franco Mariano.
Carrera: Ingeniería Agronómica.
N° legajo: 27175/9.
D.N.I.: 37.363.629.
E - Mail: francomdonna@gmail.com
Teléfono: 221-364683.

- ❖ **Director:** Ing. Agr. Millán, Guillermo.
- ❖ **Co-director:** Ing. Agr. Ferro, Daniel.

Fecha de entrega: 23/09/22

ÍNDICE

RESUMEN:.....	4
PALABRAS CLAVE.	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Marco teórico.....	5
1.2 Objetivos.....	10
1.3 Hipótesis.	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.1 Ubicación del ensayo.....	11
2.2 Muestreo y procesamiento del suelo.	11
2.3 Determinaciones.....	12
2.4 Análisis estadístico:	13
3. RESULTADOS.....	14
3.1.1: <i>pH</i>	14
3.1.2: <i>Conductividad eléctrica</i>	14
3.1.3: <i>Carbono orgánico y materia orgánica</i>	15
3.1.4: <i>Nitrógeno total</i>	15
3.1.5: <i>Amonio</i>	16
3.1.6: <i>Nitratos</i>	16
3.1.7: <i>Fosforo extraíble</i>	17
3.1.8: <i>Calcio soluble en extracto de pasta de saturación</i>	17
3.1.9: <i>Magnesio soluble en extracto de pasta de saturación</i>	17
3.1.10: <i>Potasio soluble en extracto de pasta de saturación</i>	18
3.1.11: <i>Sodio soluble en extracto de pasta de saturación</i>	18
3.1.12: <i>Relación de absorción de sodio</i>	19
3.2 Análisis de la varianza ANOVA.	19

4. DISCUSIÓN.....	21
4.1 pH.....	21
4.2 Conductividad, cationes y RAS.	22
4.3 Materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total.....	25
4.4 Nitratos.	27
4.5 Amonio.....	27
4.6 Fósforo.	28
Dinámica de los cambios.....	29
5. CONCLUSIONES.....	30
Conclusiones finales y recomendaciones.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA:.....	31

RESUMEN:

La reutilización de agua proveniente de los efluentes urbanos depurados se presenta como una práctica que podría aportar sustentabilidad al sistema forestal de regadío, aportando agua y nutrientes con el consecuente aumento de producción, a su vez, brinda un paso extra complementario de depuración antes de que los mismos sean conducidos a cauces de agua. Sin embargo, diversos autores alertan sobre los impactos que puede generar esta práctica sobre el suelo en condiciones particulares. La investigación se realiza luego de 1 año y 9 meses de la implementación del riego con efluentes urbanos depurados sobre una plantación de eucalipto con el objetivo de determinar qué efectos (positivos o negativos) produce sobre los principales parámetros químicos del suelo; pH, CE, CO, MO, Nt, NH⁴, NO₃, RAS y cationes en extracto (Ca, Mg, Na, K) a su vez que se analiza su dinámica en el suelo tomando muestras en varias profundidades (dinámica vertical) y la entre línea de riego (dinámica horizontal). Los resultados arrojaron diferencias estadísticas frente al testigo sin riego en todos los parámetros menos en CO, MO y Nt, aunque estos aumentaron no fue en un nivel significativo. En cuanto a la dinámica, se observó un perfil propio al riego por goteo donde las diferencias estuvieron en la zona de influencia del bulbo húmedo, muy localizado, decayendo en profundidad y con poca interacción con la entre línea de riego, aun con una textura franco arenosa. Se concluye que los efectos positivos prevalecen sobre los negativos, y que estos últimos se disiparían una vez suspendido el riego. Se recomienda una rotación de la práctica y del suelo en que se va a aplicar, siendo las mejores condiciones un suelo pobre, neutro y de textura gruesa.

PALABRAS CLAVE.

Efluentes, riego por goteo, suelo, eucaliptus, perfil edáfico.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Marco teórico.

El agua es un recurso natural limitado, de utilización amplia y esencial para la vida, cuya pérdida de calidad puede ocurrir fácil y rápidamente, razón por la cual debe ser preservada en cualquier circunstancia de suministro que se presente (FAO., 2013).

Aunque la irrigación para fines agrícolas representa apenas el 10% del agua utilizada, es la actividad de mayor utilización en el planeta (Silva Jorge et al., 2008). De esta forma el riego ha permitido incorporar a las actividades agropecuarias regiones y suelos que de otra forma no serían productivos (PNR., 2015).

El crecimiento acelerado de la población, especialmente en países en vía de desarrollo; la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea, la distribución desigual del recurso hídrico y los periodos secos graves han forzado a buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua, considerándose las aguas residuales como una fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso (Silva Jorge et al., 2008).

En la República Argentina, las zonas áridas, semiáridas, y subhúmedas secas representan el 75% de la superficie total del país (Collado., 2012). En consecuencia, la utilización del agua para riego es un desafío relevante para estas regiones, constituyéndose en un serio problema para el desarrollo de esas regiones. Por tanto, es necesario buscar alternativas racionales que viabilicen el uso de las aguas residuales, considerando criterios ambientales, sociales y económicos, puesto que a cada día se hace más necesario la búsqueda de fuentes alternativas (Andrade et al., 2017).

La actividad agrícola demanda agua residual por la necesidad de un abastecimiento regular que compense la escasez del recurso hídrico, a causa de la estacionalidad o la distribución irregular de la oferta de otras fuentes de agua a lo largo del año (Lara y Hernández., 2003); adicionalmente, el uso de aguas residuales presenta beneficios asociados al mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas por el aporte de

materia orgánica, macronutrientes (N, K y P) y oligoelementos, permitiendo reducir y en algunos casos eliminar, la necesidad del uso de fertilizantes químicos y trayendo beneficios económicos al sector (Hoek et al., 2002; Meideiros et al., 2005).

El concepto de manejo integral del recurso hídrico implica la gestión eficaz basada en el ahorro, la reutilización y la no contaminación del agua, la implementación de tecnologías e infraestructura multipropósito, en una planificación sostenible del territorio y una gestión integrada de las cuencas hidrográficas (Morató et al. 2006; O'Connor et al. 2010).

La FAO (2003) en “Users Manual for Irrigation with treated wastewater”, muestra la viabilidad del uso de las aguas residuales tratadas para riego, métodos de riego, estrategias para proteger la salud humana y el medio ambiente, medidas de control y aspectos socioculturales, legales, institucionales y económicos y el uso de los lodos. La OMS y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) en “Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater” contempla aspectos políticos y de regulación. De acuerdo con la FAO (2003), en 1989 la OMS publicó “Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture”. En el mismo año, la UNEP y la OMS publicaron “Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture”, con énfasis en la protección ambiental y la salud pública.

Las guías han servido de soporte en el desarrollo de ciudades, para implementar o mejorar el uso de sistemas ambientalmente sanos y seguros de aguas residuales, adaptados a sus propias condiciones técnicas, socioeconómicas y culturales (Granada., 2010)

Los métodos clásicos de depuración de aguas residuales en orden de intensidad (y de costos) son los siguientes:

- *Tratamiento primario:* Es un proceso simple de sedimentación mediante el cual los sólidos orgánicos e inorgánicos se depositan y pueden por lo tanto eliminarse. De esta forma se reduce en un 20-50% la demanda de oxígeno biológico, en un 50-70% el total de sólidos en suspensión, y en un 55-65% los aceites y grasas. También se eliminan algunos metales pesados, fósforo y nitrógeno orgánico.

En algunos casos luego de analizar su calidad, los efluentes que han recibido

un tratamiento primario pueden ser aceptables para el riego de árboles, huertos, viñedos, plantas forrajeras y algunos cultivos alimentarios que se elaboran.

- *Tratamiento secundario:* Es el más común en los países industrializados y consiste en la eliminación ulterior del resto de la materia orgánica y de los sólidos en suspensión mediante la utilización de procesos biológicos por ejemplo el metabolismo mediante microorganismos aerobios, principalmente bacterias.

Se necesita un tratamiento secundario cuando el peligro de exposición del público a las aguas residuales es alto (por ejemplo, en el caso de los cultivos alimentarios). Esto es necesario también en muchos países industrializados para prevenir la contaminación ambiental. Después de ese tratamiento, sin embargo, queda gran parte de nitrógeno y fósforo, y si el efluente se descarga en masas de agua que no tengan suficiente capacidad de dilución puede contaminarlas.

- *Tratamiento terciario:* Es el más sofisticado y costoso; con él se eliminan elementos específicos de las aguas residuales como el nitrógeno, el fósforo, los sólidos en suspensión adicionales, los metales pesados y los sólidos disueltos.

Se utiliza el tratamiento terciario para reducir el riesgo de enfermedades en casos en que la exposición del público al afluente sea alta (por ejemplo, cuando se usa el riego por aspersión en los parques públicos o en los campos de golf). Dado que en el proceso de tratamiento se extraen los nutrientes de las plantas, el riego con aguas residuales depuradas no es ventajoso con respecto a la productividad.

A menudo se realiza la desinfección después de los tratamientos secundarios o terciarios para matar los virus u otros organismos patógenos que podrían quedar en el agua, esto se lleva a cabo añadiendo una sustancia química (normalmente cloro). (Crespi R. et al., 2005).

Si las aguas residuales no se depuran suficientemente o se eliminan de manera inadecuada, pueden constituir una fuente de contaminación y un peligro para la salud. No obstante, el costo de los tratamientos convencionales es alto y, por lo tanto, prohibitivo para la mayoría de los países en desarrollo.

Por esta razón los países están experimentando otros tipos de tratamiento, entre ellos los métodos de aplicación en el terreno, incluido el riego. Si se practican correctamente, estos métodos son simples, de bajo costo y eficaces, tanto para eliminar las aguas residuales como para mejorar su calidad. En los lugares donde las aguas residuales reciben ya tratamiento, esta práctica puede mejorar aún más su calidad a un bajo costo, mientras que cuando se aplica un tratamiento previo limitado, podría ser el recurso de eliminación con menor peligro de enfermedades y daños para el ambiente.

- *Tratamientos Naturales de Agua Residual:* Se trata de aquellos procedimientos en los que el tratamiento principal es proporcionado por componentes del medio natural, sin la intervención de agentes artificiales (Peña M. et al., 2002). Estos procedimientos se caracterizan por sus menores necesidades de personal de operaciones, menor consumo energético y menor producción de fangos. Sin embargo, requieren mayores superficies de terreno disponibles.

Los resultados de las investigaciones demostraron que los efluentes urbanos depurados se pueden reciclar a través de los ecosistemas forestales, con la ventaja de hacer potable el agua, reponer las reservas freáticas y aumentar el crecimiento de los árboles. Utilizar este tipo de agua en especies forestales es lo ideal, ya que no son especies de consumo directo por el ser humano, es decir que el producto forestal o frutal no estará en contacto con el agua de riego y, por ende, no corre peligro de contaminación por bacterias patógenas para la salud. El riego con agua procedente de lagunas de oxidación es igual de eficiente que el riego con agua potable, ya sea que provenga de lagunas facultativas o de maduración, por lo que no afectará su desarrollo de manera negativa, teniendo en cuenta que este tipo de agua no sustituye la fertilización.

Las aguas de alcantarillado no depuradas, e incluso los efluentes que han recibido tratamiento secundario, tienen muchos de los nutrientes minerales que la planta necesita para su crecimiento (nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes). Los experimentos han demostrado repetidamente que cuando los cultivos y árboles se riegan con aguas residuales tienen una productividad mayor que cuando se hace con agua limpia. Estos nutrientes representan un recurso de valor considerable si se comparan con el costo equivalente de los fertilizantes. La aplicación de aguas residuales, en cantidades que aseguren un equilibrio entre el aporte de nutrientes y

la absorción de la planta, favorecerá el crecimiento óptimo de la planta, al mismo tiempo que limitará los riesgos de contaminación. (Crespi R. et al., 2005)

Análogamente, las aguas residuales se han utilizado mucho más para la agricultura de regadío que para el riego forestal. Sin embargo, en algunos lugares los peligros para la salud y los valores estéticos y culturales limitan el uso agrícola de las aguas residuales (particularmente para los cultivos alimentarios) y pueden hacer que la silvicultura sea una opción más apropiada. (Crespi R. et al. 2005). Además, en algunas circunstancias, la silvicultura de regadío puede competir económicamente con la agricultura de regadío e incluso ser más rentable (Armitage., 1985).

Para la aplicación del reúso sobre un cultivo específico, es necesario tener en cuenta aspectos como: la capacidad de asimilación de nutrientes, el consumo de agua, la presencia de iones tóxicos, la concentración relativa de Na y el contenido de sales solubles, ya que en ciertas condiciones climáticas puede salinizarse el suelo y modificarse la composición iónica, alterando características como el desarrollo vegetativo y la productividad (Pizarro., 1990; citado por Medeiros et al., 2005).

Los posibles impactos negativos en el suelo de mayor trascendencia, generados preponderantemente por el riego son:

- *De carácter físico:* Erosión, disminución de la infiltración y de la conductividad hidráulica.
- *De carácter químico:* Incremento del pH, salinidad, sodicidad y toxicidad (PNR., 2015).

Los aspectos de salinidad y sodicidad han sido considerados muchas veces como secundarios en la mayoría de los estudios realizados en aguas residuales que se aplican como riego, porque no representan un riesgo directo sobre las personas; sin embargo, son un peligro potencial a mediano y largo plazos, que podría disminuir la productividad del suelo (reducción de la permeabilidad e infiltración) y los cultivos (reducción del rendimiento) si no se le considera de forma oportuna. Varios autores han reportado los efectos nocivos del riego con altos niveles de sales y sodio (Beltran., 1999; Deniz et al., 2010; Muyen et al., 2011 citados en Ontiveros Capurata et al., 2013).

Si bien el problema de sales se restringe a regiones con limitada precipitación

pluvial, donde las lluvias son escasas y erráticas, y no son de suficiente magnitud como para desplazar las sales del perfil del suelo, los mismos autores especifican que normalmente en regiones con más de 600 mm de lluvia el riesgo de salinización no es alto si el agua de riego no es de tan mala calidad (Castellanos et al., 2000).

Cuando se trata de reutilizar las aguas residuales, la técnica del riego por goteo es la más efectiva y segura, consiguiendo no solo suplir la deficiencia hídrica del cultivo, sino también contribuyendo al control de la contaminación ambiental (Oron G, et al., 2001).

1.2 Objetivos.

Generales: Evaluar las modificaciones que producen los efluentes urbanos depurados en el ambiente edáfico y la dinámica de los nutrientes en el perfil de suelo.

Propiciar pautas para el monitoreo de sistemas de tratamiento de efluentes domésticos con destino al riego de forestaciones.

Específicos: Determinar el efecto y dinámica en el perfil de suelo del riego con efluentes urbanos depurados en el contenido de:

- La materia orgánica (MO) y el carbono orgánico (CO).
- El pH y conductividad eléctrica (CE).
- Los cationes en el extracto (Na, K, Ca y Mg) del suelo, la relación de adsorción de sodio (RAS).
- El nitrógeno total (Nt), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+) del suelo.

1.3 Hipótesis.

El riego con efluentes urbanos depurados no genera efectos negativos en las distintas propiedades químicas del suelo tales como modificaciones importantes de pH, salinidad y sodicidad. Por lo tanto, se puede utilizar como último tratamiento natural y complementario antes de derivar al ambiente. A su vez los aportes de nutrientes y agua pueden mejorar la competitividad de la plantación al mantenerse en niveles por debajo de los perjudiciales y lo suficientemente alto como para aportar nutrientes al cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Ubicación del ensayo.

El estudio se realizó 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 metros (m) de la descarga original. En un lote de 15 hectáreas (ha) de “La Lata” se realizó una conducción de rebrote de la plantación de eucalipto 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 litros por hora (l/h) y el riego comenzó en enero de 2016. Se presentarán resultados que corresponden a un año y nueve meses de riego.

2.2 Muestreo y procesamiento del suelo.

En septiembre de 2017 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 mezclada (SR) que incluye la línea y la entrelínea. Para cada situación se confeccionó una muestra compuesta de 10 sub-muestras, 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 se mantuvieron refrigeradas hasta su análisis. El acondicionamiento se realiza según norma IRAM-SAGPyA 29578.

2.3 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_3^- y NH_4^+ : Nitratos y amonio determinados por destilación, método de Bremner, según SAMLA-PROMAR (2004).
- Cationes en el extracto de pasta de saturación: determinados por complejometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K).
- *RAS*: Relación de adsorción de sodio, calculada a partir de la concentración de cationes en el extracto de pasta de saturación según fórmula: $RAS = \frac{Na}{\left[\frac{(Ca+Mg)}{2}\right]^{\frac{1}{2}}}$.
- *P*: Fósforo: Determinación de fósforo extraíble de los suelos, metodología de Bray-Kurtz n°1 modificado, Norma IRAM 29570-1.

La tabla 1 sintetiza las distintas determinaciones a realizar tanto en la parcela con riego (en la línea de riego y entre líneas) como en la parcela sin riego y las profundidades analizadas.

Tabla 1: Determinaciones y profundidades realizadas

Determinaciones												Profundidad			
pH	CE	CO	MO	Nt	Ca	Mg	K	Na	NO ₃	NH ₄	P	RAS	(cm)		
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	-	20
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	20	-	40
x	x				x	x	x	x	x	x		x	40	-	60
x	x				x	x	x	x	x	x		x	60	-	80
x	x				x	x	x	x	x	x		x	80	-	100

2.4 Análisis estadístico:

Los resultados químicos fueron analizados por Anova doble, considerando las ubicaciones Línea de riego (LR), Entre línea de riego (ELR) y Sin riego (SR) y las profundidades (cm) 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 de muestreo como factores.

Las diferencias entre medias de tratamientos fueron determinadas mediante el test de Tukey ($p > 0,05$). Se utilizó el programa InfoStat.

3. RESULTADOS.

3.1.1: pH.

La tabla 2 indica los resultados de pH promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 2: Resultados de pH por determinación potenciométrica y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego	Línea de riego	Entre líneas de riego
0 a 20	5,98 (A)	4,80 (B)	6,04 (A)
20 a 40	5,92 (A)	5,19 (A)	5,83 (A)
40 a 60	5,64 (A)	5,48 (A)	5,43 (A)
60 a 80	5,34 (A)	5,25 (A)	5,42 (A)
80 a 100	5,23 (A)	4,92 (A)	5,06 (A)

3.1.2: Conductividad eléctrica.

La tabla 3 indica los resultados de conductividad eléctrica promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 3: Resultados de CE por determinación método conductimétrico y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (dS.m ⁻¹)	Línea de Riego (dS.m ⁻¹)	Entre líneas de riego (dS.m ⁻¹)
0 a 20	0,13 (A)	0,62 (B)	0,12 (A)
20 a 40	0,10 (A)	0,43 (B)	0,12 (A)
40 a 60	0,10 (A)	0,32 (A)	0,12 (A)
60 a 80	0,08 (A)	0,32 (B)	0,20 (AB)
80 a 100	0,11 (A)	0,23 (A)	0,40 (A)

3.1.3: Carbono orgánico y materia orgánica.

La tabla 4 y 5 indican los resultados de carbono orgánico y materia orgánica promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad respectivamente.

Tabla 4: Resultados de CO por determinación método Walkley-Black y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (%)	Línea de riego (%)	Entre líneas de riego (%)
0 a 20	0,29 (A)	0,61 (A)	0,25 (A)
20 a 40	0,23 (A)	0,23 (A)	0,20 (A)

Tabla 5: Resultados de MO por calculo a partir del dato de CO y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (%)	Línea de riego (%)	Entre líneas de riego (%)
0 a 20	0,50 (A)	1,05 (A)	0,45 (A)
20 a 40	0,40 (A)	0,39 (A)	0,35 (A)

3.1.4: Nitrógeno total.

La tabla 6 indica los resultados de nitrógeno total promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 6: Resultados de Nt por determinación microkejdhal y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (%)	Línea de riego (%)	Entre líneas de riego (%)
0 a 20	0,03 (A)	0,06 (A)	0,02 (A)
20 a 40	0,02 (A)	0,03 (A)	0,02 (A)

3.1.5: Amonio.

La tabla 7 indica los resultados de Amonio promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 7: Resultados de NH_4 , determinación por destilación por método Bremner y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (mg.l^{-1})	Línea de riego (mg.l^{-1})	Entre líneas de riego (mg.l^{-1})
0 a 20	0,15 (A)	0,42 (B)	0,10 (AB)
20 a 40	0,11 (A)	0,47 (A)	0,30 (A)
40 a 60	0,00 (A)	0,30 (A)	0,09 (A)
60 a 80	0,02 (A)	0,14 (A)	0,26 (A)
80 a 100	0,06 (A)	0,53 (A)	0,12 (A)

3.1.6: Nitratos.

La tabla 8 indica los resultados de Nitratos promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 8: Resultados de NO_3 , determinación por destilación por método Bremner y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (mg.l^{-1})	Línea de riego (mg.l^{-1})	Entre líneas de riego (mg.l^{-1})
0 a 20	27,23 (A)	203,65 (B)	36,61 (AB)
20 a 40	26,97 (A)	82,02 (A)	37,04 (A)
40 a 60	20,00 (A)	45,68 (A)	24,56 (A)
60 a 80	16,07 (A)	36,15 (A)	49,83 (A)
80 a 100	14,41 (A)	87,06 (A)	26,03 (A)

3.1.7: Fosforo extraible.

La tabla 9 indica los resultados de Fosforo extraible promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 9: Resultados de P, determinación por Bray-Kurtz modificado y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (ppm)	Línea de riego (ppm)	Entre líneas de riego (ppm)
0 a 20	6,87 (A)	36,33 (B)	8,35 (A)

3.1.8: Calcio soluble en extracto de pasta de saturación.

La tabla 10 indica los resultados de Calcio promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 10: Resultados de Ca, determinación por complejometría con EDTA y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (meq.l ⁻¹)	Línea de riego (meq.l ⁻¹)	Entre líneas de riego (meq.l ⁻¹)
0 a 20	0,79 (A)	1,91 (B)	0,67 (A)
20 a 40	0,67 (A)	0,89 (A)	0,67 (A)
40 a 60	0,61 (A)	0,77 (A)	0,47 (A)
60 a 80	0,51 (A)	0,87 (A)	0,91 (A)
80 a 100	0,58 (A)	0,83 (A)	0,68 (A)

3.1.9: Magnesio soluble en extracto de pasta de saturación.

La tabla 11 indica los resultados de Magnesio promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 11: Resultados de Mg, determinación por complejometría con EDTA y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (meq.l ⁻¹)	Línea de riego (meq.l ⁻¹)	Entre líneas de riego (meq.l ⁻¹)
0 a 20	0,45 (A)	0,89 (B)	0,16 (AB)
20 a 40	0,43 (A)	0,87 (A)	0,45 (A)
40 a 60	0,41 (A)	0,47 (A)	0,27 (A)
60 a 80	0,35 (A)	0,41 (A)	0,43 (A)
80 a 100	0,46 (A)	0,60 (A)	0,36 (A)

3.1.10: Potasio soluble en extracto de pasta de saturación.

La tabla 12 indica los resultados de Potasio promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 12: Resultados de K, determinación por fotometría de llama y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (meq.l ⁻¹)	Línea de riego (meq.l ⁻¹)	Entre líneas de riego (meq.l ⁻¹)
0 a 20	0,11 (A)	0,51 (B)	0,20 (A)
20 a 40	0,12 (A)	0,32 (B)	0,15 (AB)
40 a 60	0,17 (A)	0,29 (B)	0,16 (AB)
60 a 80	0,14 (A)	0,24 (B)	0,16 (AB)
80 a 100	0,16 (A)	0,19 (A)	0,18 (A)

3.1.11: Sodio soluble en extracto de pasta de saturación.

La tabla 13 indica los resultados de Sodio promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 13: Resultados de Na, determinación por fotometría de llama y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego (meq.l ⁻¹)	Línea de riego (meq.l ⁻¹)	Entre líneas de riego (meq.l ⁻¹)
0 a 20	0,62 (A)	3,46 (B)	0,46 (A)
20 a 40	0,43 (A)	3,90 (B)	0,55 (A)
40 a 60	0,41 (A)	2,56 (A)	0,48 (A)
60 a 80	0,36 (A)	2,11 (A)	1,11 (A)
80 a 100	0,57 (A)	2,32 (B)	1,47 (AB)

3.1.12: Relación de absorción de sodio.

La tabla 14 indica los resultados de RAS promedio y test de Tuckey que denomina con letras distintas en caso de diferencias significativas $p < 0,05$ de las 3 submuestras para cada tratamiento en cada profundidad.

Tabla 14: Resultados de RAS, determinación por formula y diferencias significativas entre muestras para la determinación.

Profundidad (cm)	Sin Riego	Línea de riego	Entre líneas de riego
0 a 20	0,79 (A)	2,95 (B)	0,71 (AB)
20 a 40	0,57 (A)	4,20 (B)	0,75 (A)
40 a 60	0,59 (A)	3,17 (B)	0,78 (A)
60 a 80	0,54 (A)	2,65 (A)	1,59 (A)
80 a 100	0,79 (A)	2,76 (B)	2,05 (AB)

3.2 Análisis de la varianza ANOVA.

En la tabla 28 se pueden observar los resultados del análisis estadístico de la varianza para cada determinación.

Tabla 15: Determinaciones con su respectivo número (N) de muestras (3 repeticiones por profundidad en 3 sitios), coeficiente de determinación (R²) y el mismo ajustado (R² Aj) y el coeficiente de variación (CV)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RAS	45	0,48	0,24	99,73
C.E	45	0,68	0,54	56,55
Na	45	0,69	0,55	67,71

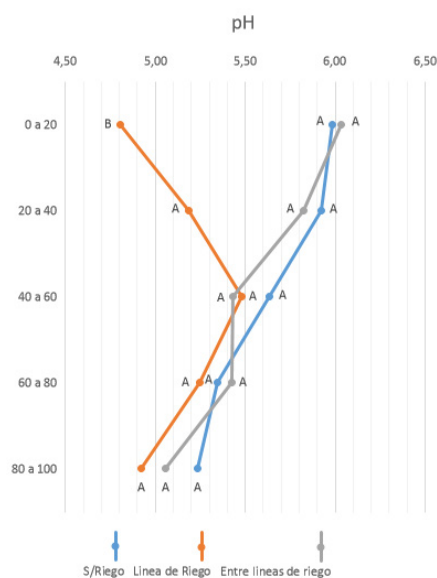
Ca	45	0,57	0,36	44,31
Mg	45	0,45	0,20	54,11
K	45	0,83	0,75	26,67
pH	45	0,78	0,68	4,42
N total	18	0,78	0,69	33,00
NH₄	45	0,48	0,24	99,73
NO₃	45	0,91	0,87	36,84
MO	18	0,64	0,50	41,79
CO	18	0,65	0,51	41,72
P	9	s/d	0,09	82,23

4. DISCUSIÓN.

4.1 pH.

Las muestras tomadas sobre la línea de riego en superficie mostraron una acidificación significativa para luego equilibrarse progresivamente en profundidad con la entre línea y el testigo sin riego, estos ya se encontraban en valores similares desde superficie. (figura 1)

Figura 1: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de pH y sus diferencias estadísticas entre sitios.



Los resultados indicarían que hasta el momento en el ensayo predominarían las fuentes de acidificación relacionadas a la carga de origen orgánica del agua de riego y la nitrificación por sobre las acumulaciones de iones de reacción alcalina.

El pH refleja la actividad de los iones H^+ de la solución del suelo. Se observa que el pH disminuye hasta los 40 cm de profundidad en la parcela con riego solamente sobre la línea, para después seguir la misma tendencia que el testigo sin riego y la entre línea de riego. Este comportamiento se contradice con los esperado y con investigaciones precedentes ya que se esperaba que el incremento de bases de intercambio debería aumentar el pH (Sahare et al, 2014; Fonseca et al, 2007) y que 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

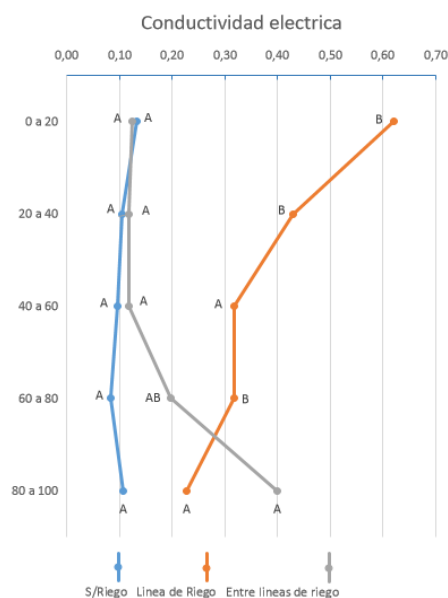
alcalinización del suelo. (Zapata Hernández, 2004)

La posible fuente de esta acidez es una concentración temporal de H^+ en la solución originada de los procesos que se van dando en el suelo con aporte de sustancias orgánicas, los procesos de mineralización y de nitrificación podrían estar generando un aporte de H^+ . El proceso de nitrificación se produce en el suelo debido tanto al amonio (NH_4^+) en solución, como al 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 NH_4^+ a NO_3^- . Teniendo en cuenta que se liberan $4H^+$ por cada mol de N transformado, podría ser la principal fuente de acidificación. Otros procesos que contribuyen a la acidificación es la mineralización de la materia orgánica y la absorción de cationes por parte de la plantación.

4.2 Conductividad, cationes y RAS.

La medición de la conductividad eléctrica dio como resultado que en la línea de riego aumenta el contenido de sales respecto al testigo, pero su influencia no llega hasta la entrelínea sino hasta la profundidad de 60 cm en adelante, donde se observa un desplazamiento de la carga de sales a la entrelínea. (figura 2)

Figura 2: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de CE ($dS.m^{-1}$) y sus diferencias estadísticas entre sitios.



Los cationes del extracto presentan en todos los casos una baja interacción entre la línea de riego y la entrelinea. La tendencia también, es aumentar significativamente en la línea de riego e ir disminuyendo con la profundidad con distinta pendiente, hasta casi igualar las condiciones del testigo (figura 3 y 4).

Figura 3: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de Ca (meq.l⁻¹) y Mg (meq.l⁻¹) y sus diferencias estadísticas entre sitios.

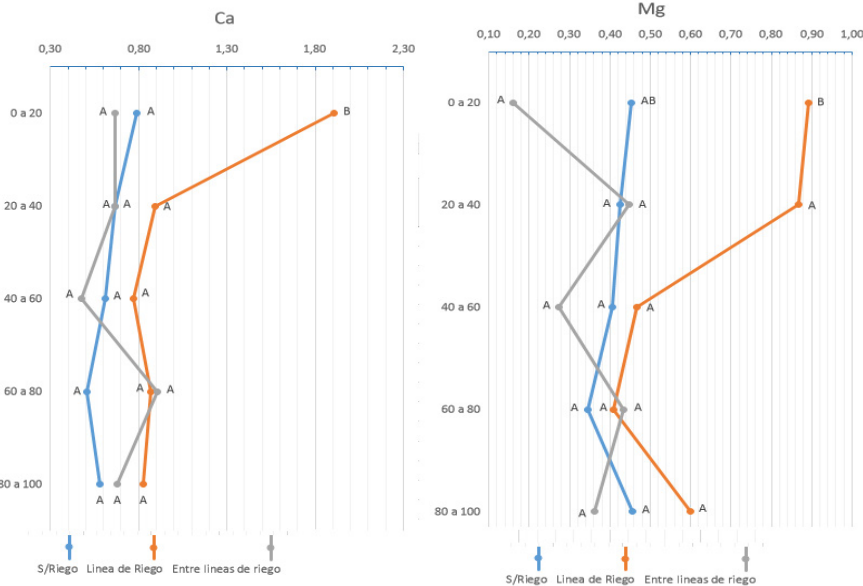
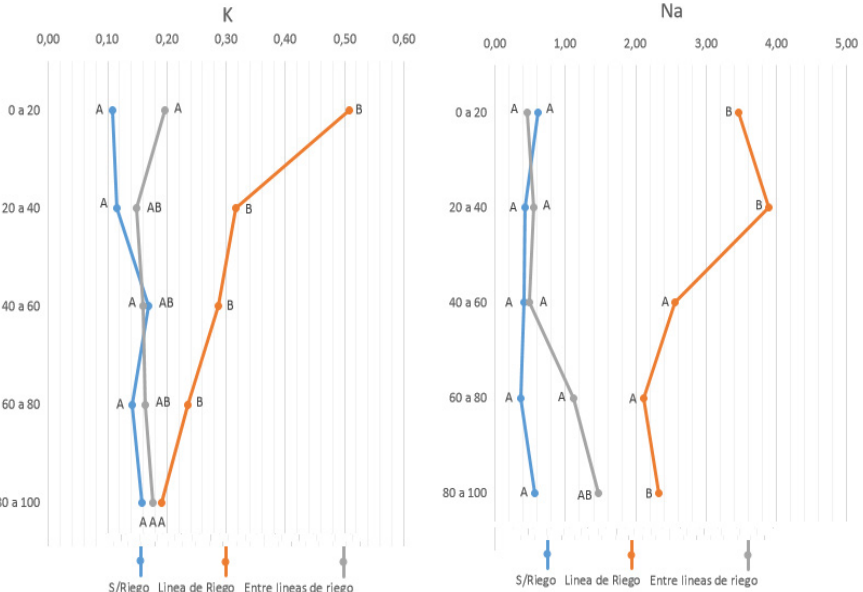
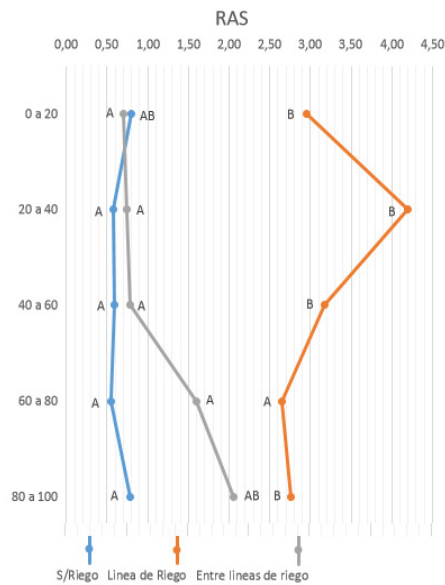


Figura 4: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de K (meq.l⁻¹) y Na (meq.l⁻¹) y sus diferencias estadísticas entre sitios.



La RAS relaciona la concentración de sodio con respecto al calcio y magnesio, por lo que la tendencia es la misma, atenuada por la presencia de estos cationes. (figura 5)

Figura 5: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de RAS y sus diferencias estadísticas entre sitios.



El riego como practica aporta iones, fundamentalmente Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} y K^{+1} . Si bien el suelo posee alta permeabilidad que podría limitar la acumulación, se registra un aumento de la conductividad eléctrica (CE) y de la concentración de cationes (Ca, Mg, Na y K) lo que confirma una ganancia.

La conductividad eléctrica permite cuantificar indirectamente el contenido de sales ionizadas del extracto de suelo.

Según los resultados obtenidos, se evidencia un aumento superficial y una disminución gradual hasta la profundidad de 80 cm en la línea de riego. Luego se observa que a la profundidad de 80 a 100 cm presenta un incremento para las 2 situaciones 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 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 estos valores aumentaron, están lejos de generar problemas al cultivo, en general se considera que los problemas comienzan a partir de 2ds/m de conductividad (vs. 0,6) y la RAS presenta riesgo de sodicidad bajo cuando es menor a 5 como en este caso.

Rodríguez et al., (2006) y Sánchez et al., (2013) encontraron que el riego con aguas residuales en los suelos incrementó los valores de potasio. Igual que Zamora et al., (2008), Sánchez et al., (2013) registro resultados similares; concentraciones altas de Ca y moderadamente altas de Mg.

Feigin et al., (1991) afirman que, si bien existe un aumento en la concentración de K^+ disponible a través de la disposición de aguas residuales al suelo, la cantidad de este nutriente requerido por las plantas es tan alta que es difícil abastecer a las plantas solo con efluentes.

En cuanto al sodio Medeiros et al., (2005) encontró también que la adopción de esta práctica aumentó la concentración de Na^+ intercambiable en el suelo, tanto en profundidad como en el tiempo.

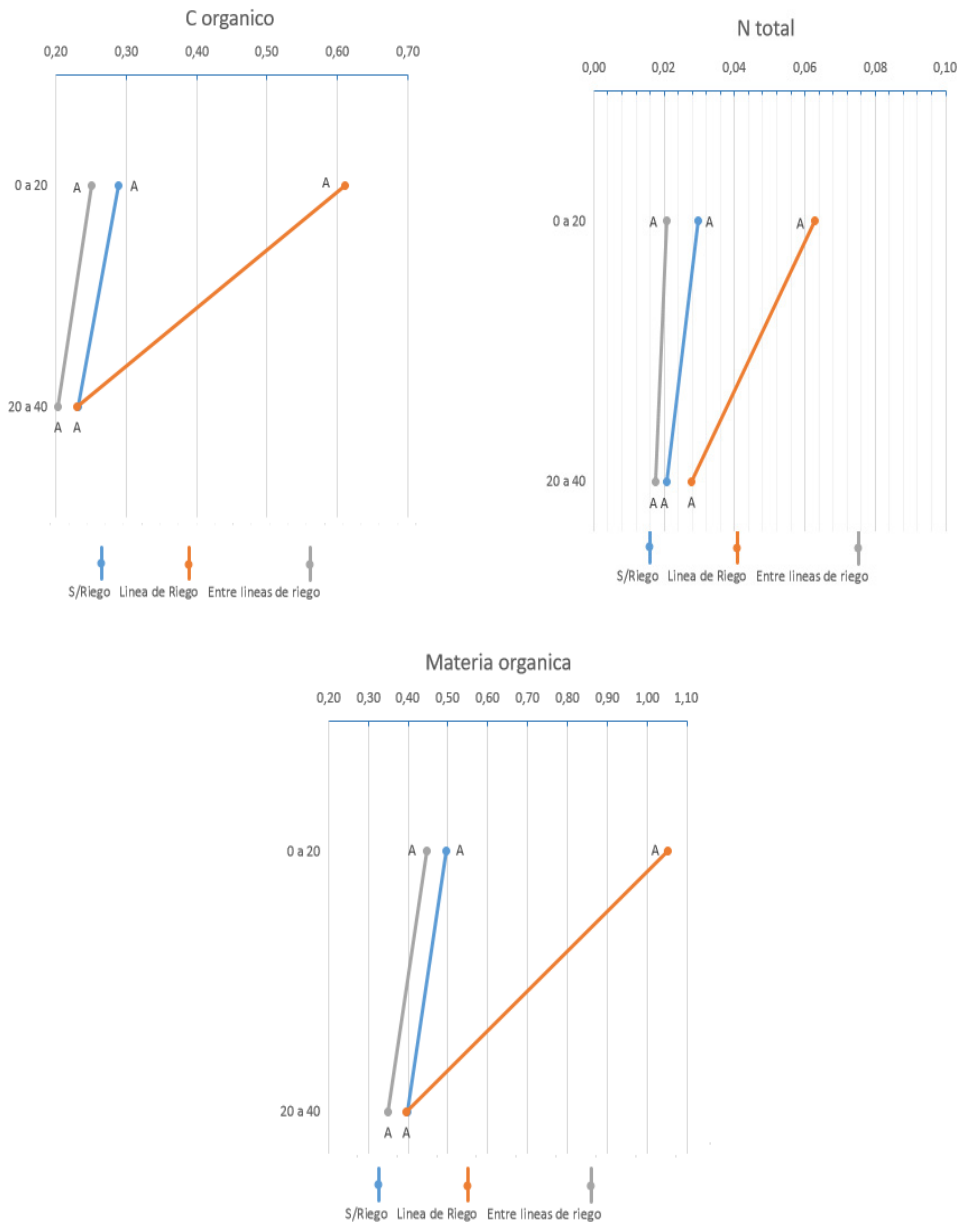
Existen varios reportes en la literatura respecto al incremento en la concentración de Na^+ intercambiable en el suelo, debido a la aplicación de aguas residuales (Cromer et al., 1984; Smith et al., 1996; Falkiner & Smith, 1997; Fonseca, 2001 y García, 2003) y el incremento está influenciado por la concentración en el agua.

El aumento del RAS del suelo, verificado en ambos manejos, fue atribuido al aumento de la concentración de Na^+ en relación al Ca^{2+} y Mg^{2+} .

4.3 Materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total.

Para los casos de la materia orgánica, el carbono orgánico y el nitrógeno total, parámetros íntimamente relacionados, se obtuvo como resultado una ganancia de los mismos en la superficie de la línea de riego, pero no a un nivel significativo y dicha ganancia no se sostiene en la segunda profundidad. (figura 6)

Figura 6: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de CO (%), Nt (%), MO (%) y sus diferencias estadísticas entre sitios.



Este parámetro es de modificación lenta, por lo que si bien los resultados no presentan una diferencia significativa la tendencia es al aumento y acumulación de materia orgánica.

Zamora et al., (2008) citan que el riego constante con aguas residuales en pastizales, incrementó los niveles de MO.

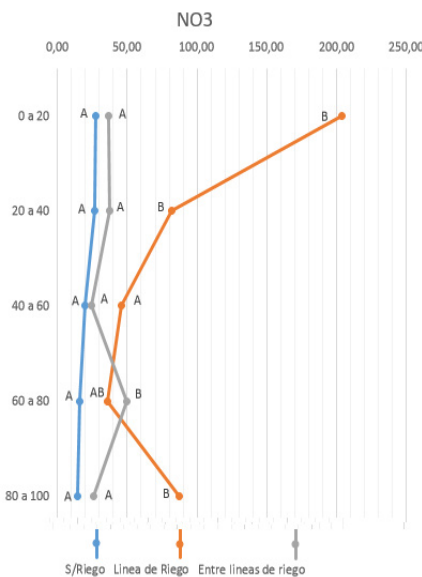
El contenido de CO y MO manifiestan un aumento debajo de la línea de riego sería justificado por el aporte del efluente y un incremento de biomasa.

Por otro lado el aumento del contenido CO y MO mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo, de manera similar a la producida por el uso de enmiendas orgánicas (Cuevas et al, 2006).

4.4 Nitratos.

Los nitratos mantienen una tendencia similar a la materia orgánica, pero más pronunciada. A su vez, la presencia en profundidad es un dato de importancia para aventurar conclusiones. (figura 7)

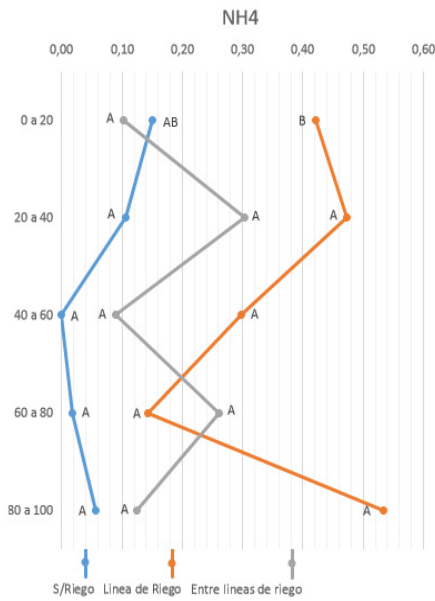
Figura 7: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de NO_3 (mg.l^{-1}) y sus diferencias estadísticas entre sitios.



4.5 Amonio.

El amonio además de aumentar en la línea de riego presenta una gran interacción con la entrelinea. (figura 8)

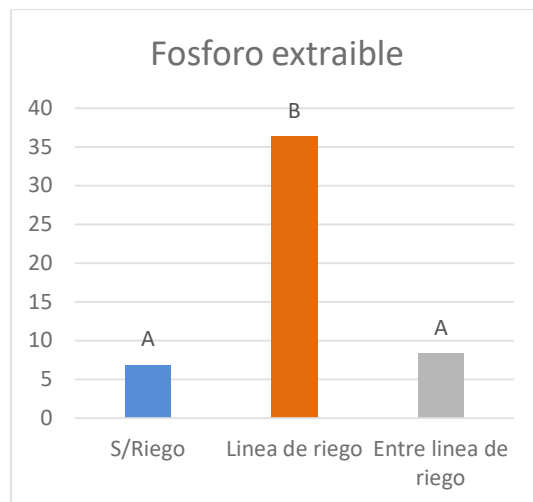
Figura 8: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de NH_4 (mg.l^{-1}) y sus diferencias estadísticas entre sitios.



4.6 Fósforo.

El fósforo disponible aumenta su concentración a la profundidad analizada en la línea de riego, en tanto se mantiene en la entre línea a valores similares a los de la parcela sin riego. (figura 9)

Figura 9: Esquema del perfil de suelo hasta la profundidad analizada con los valores de P (ppm) y sus diferencias estadísticas entre sitios.



El fósforo presenta una de las mayores ganancias en nutrientes analizadas, si bien es un elemento muy poco móvil en suelo y no se midió a mayores profundidades,

este resultado queda inconcluso para un análisis más completo sobre su dinámica en el perfil.

El P se caracteriza por tener una baja movilidad en el suelo, si bien se podría esperar una cierta dispersión por la textura del suelo y el nivel de riqueza del nutriente en el efluente, no se evidencia este movimiento horizontal.

Tanto Andrade et al., (2020) como Sánchez et al., (2013) reportan que en suelos regados con aguas residuales a medida que aumenta el tiempo de riego, es mayor el incremento en los contenidos de fósforo.

Medeiros et al., (2005) menciona en su trabajo que la aplicación de aguas residuales domésticas al suelo fue tan efectiva como fuente de P como la aplicación de superfosfato simple. Varios investigadores han observado aumentos en los contenidos de P en suelos regados con efluentes de aguas residuales (Latterell et al., 1982; Stewart et al., 1990 y Al-nakshabandi et al., 1997) y estos aumentos también se notan, principalmente en la capa superficial del suelo.

Dinámica de los cambios.

En todas las determinaciones se observa una dinámica similar donde los efectos del riego se producen principalmente en superficie, con disminuciones progresivas en profundidad y con poca interacción en la entre línea.

Esto se justifica principalmente por el tipo de riego y textura del suelo que por la movilidad propia de cada parámetro analizado.

En este sentido Moreno y Villafañe (2009) describen que el área mojada y el volumen de suelo humedecido en riego por goteo están determinados por las características físicas de los horizontes del perfil, la dosis aplicada, el caudal del emisor, la frecuencia de riego y la topografía del terreno; sin embargo, aún no existen modelos suficientemente precisos que permitan estimar adecuadamente la forma y el tamaño del bulbo en función de las condiciones de suelo y de manejo del agua, resultando necesaria la realización de pruebas de campo para el diseño (Keller & Bliesner, 1990; Gil, 2001; Elmaloglou & Diamantopoulos, 2007).

Cuando se aplican volúmenes pequeños de agua, se obtienen bulbos de humedecimiento con formas elípticas de elongación horizontal; pero si se incrementa

el tiempo de aplicación del agua o el caudal del emisor, la elipse se elonga de manera vertical (Cruz-Bautista et al., 2015).

Aguirre et al., 2011 analizó también la dinámica de algunos parámetros en riego por goteo y encontró que el frente húmedo durante la irrigación movería la sal en profundidad y a los costados de las líneas de goteros, fenómeno también observado por Burt & Isbell (2003) para un suelo franco. En el movimiento horizontal también observo que con respecto al valor RAS se observan isoclinas verticales cuyos valores decrecen en las dos transectas hacia ambos lados desde los goteros. Esta diferencia se debería a la permeabilidad del suelo y sería resultado de un proceso de movimiento de solutos.

5. CONCLUSIONES.

1. El riego con efluentes generó impactos positivos en la fertilidad del suelo aumentando los niveles de fósforo, nitrógeno, materia orgánica y minerales importantes para la nutrición vegetal como calcio, magnesio y potasio.
2. Se registran cambios considerados negativos en el pH por la acidificación, y los aumentos en los niveles de sodio con la consecuente suba de RAS, aunque los mismos no llegan a niveles preocupantes y se espera que dichos efectos desaparezcan una vez cesado el riego.
3. Se encontraron diferencias principalmente localizadas en superficie por el tipo de riego, esto sumado a que el cultivo forestal presenta un gran desarrollo radicular ayudaría a mitigar los efectos negativos que podría generar en el cultivo y aprovechar los efectos positivos.
4. Los efectos del riego con efluentes urbanos tratados encontrados en el suelo permiten sospechar que está funcionando como un tratamiento complementario de depuración del agua antes de ser arrojada a cuerpos de agua donde producía eutrofización.
5. La práctica genera un aprovechamiento efectivo por parte del cultivo del aprovisionamiento constante de agua y aporte de nutrientes en un suelo de rápido drenaje y baja fertilidad.

Conclusiones finales y recomendaciones.

La práctica resulta tener un impacto positivo en las condiciones analizadas, destacando su aporte a la productividad del cultivo, la mejora en condiciones de suelo (fertilidad futura) y la fijación de carbono al suelo que contribuye a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

Se recomienda un seguimiento de los parámetros analizados en los posteriores años ya que el aporte continuará y será necesario observar si los mismos se estabilizan o continúan su aumento (lo que puede generar problemas).

A su vez, se sugiere que para la implementación de este tipo de práctica se observe principalmente el tipo de riego y textura de suelo, así como también las demandas y requerimientos del cultivo sobre el que se aplica.

6. BIBLIOGRAFÍA:

Aguirre, María Elina; Elisei, Victorio Raúl; Commegna, Marta Aurelia & Santamaría, Raúl Manuel. 2011. Evolución de la salinidad en un suelo irrigado del sudoeste bonaerense. Argentina. pp: 265-276,

Al-Nakshabandi, G.A; Saqqar, M.M; Shatanawi, M.R; Fayyad, M; Al-Horani, H. 1997. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. Agricultural Water Management. Amsterdam. v.34, n.1, p.8194.

Andrade, M. L; Marcet, P; Reyzábal, L. M. y Montero, G. M. 2000. Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. Edafología. Argentina. pp: 21-29

Andrade-Filho; J; Bezerra-do-Nascimento, I; de Sousa-Neto, O.N; Chipana-Rivera, R; Cruz-Portela, J. and Dunga-da-Costa, J. 2017. Contenido foliar de N, P y K en algodón fertirrigado con efluente de alcantarillado tratado. DYNA, 84 (202). pp: 147-154.

BELTRAN, J. 1999. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. Agricultural Water Management. Vol. 44, pp. 183-194.

Burt, C & B Isbell. 2003. Reclamation leaching for Salinity buildup under drip and micro-spray irrigation in arid areas of California. TRC Report N° R 03-005.

Castellanos, J. Z; J. X. Uvalle Bueno; A. Aguilar Santelisis. 2000. La calidad del Agua para uso agrícola. En: Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Ed. INCAPA, 2ª. edición. pp. 158-166.

Cepis (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2004. Tratamiento con lagunas. En: www.cepis.ops.oms.org/eswwwfulltext/repind53/arp/arp02.html. Ultimo acceso agosto 2022

Cirelli, G; Consoli, S; Licciardello, F; Aiello, R; Giuffrida, F; Leonardi, C. 2012. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. *Agr. Water Manag. (USA)*. pp: 104:163-170.

Collado, Alfredo. 2012. Desertificación en Argentina: el problema de las 60 millones de hectáreas. <http://inta.gob.ar/noticias/desertificacion-en-argentina-el-problema-de-las-60-millones-de-hectareas>. Ultimo acceso agosto 2022.

Crespi, R; O. Plevich; A. Thuar; L. Grosso; C. Rodríguez; D. Ramos; O. Barotto M. Sartori; M. Covinich y J. Boehler. 2005. Manejo de aguas residuales urbanas. Universidad Nacional de Río Cuarto.

Cromer, R.N; Tompkins, D; Barr, N.J; Hopmans, P. 1984. Irrigation of Monterey pine with wastewater: effect on soil chemistry and groundwater composition. *Journal of Environmental Quality*. Madison. v.13, n.4, pp:539-542.

Cruz-Bautista, F; Zermeño - González, A; Álvarez - Reyna, V; Cano - Ríos, P; Rivera - González, M & Siller-González, M. 2015. Modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo en riego por goteo. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6 (4), pp: 131-140.

Deniz, F; Sadhwani, J; Veza, J. 2010. New quality criteria in wastewater reuse. The case of Gran Canaria. *Desalination*. Vol. 205, No, pp: 716-722.

Elmaloglou, S. y E. Diamantopoulos. 2007. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. *Agricultural Water Management* 90: pp: 160-163.

FAO, 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia, opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Chile. p: 22. <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>. Ultimo acceso agosto 2022.

Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J.1991. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlín. Springer-Verlag. p: 233.

Fonseca, A.F. 2001. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. Piracicaba: ESALQ. Dissertação Mestrado. p:110.

Garcia, G.O. 2003. Alterações químicas, físicas e mobilidade de íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon. Viçosa: UFV. Dissertação Mestrado. p: 100.

Gil, J. 2001. Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana. Revista UDO Agrícola. pp: 42-47.

Granada Eduardo; Cuellar Jonathan; Calderón Renso. 2010. Esquema metodológico para la reutilización de aguas residuales domésticas tratadas en riego. Facultad de ingeniería EIDENAR.

Keller, J. y R. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold, NY. USA. p: 652.

Kiziloglu, F; Turan, M; Sahin, U; Kuslu, Y; Dursun, A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agr. Water Manag. pp: 95:716-724.

Lara, J.A. y A. Hernandez. 2003. Reutilización de aguas residuales: aprovechamiento de los nutrientes en riego agrícola. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales. Instituto Cinara, Universidad del Valle. pp: 237-242.

Latterell, J.J; Dowdy, R.H; Clapp, C.E; Larson, W.E; Linden, D.R.1982. Distribution of phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water effluent: a 5-year study. Journal of Environmental Quality, Madison, v.11, pp: 124-128.

Medeiros, S; A. Soares; P. Ferreira; J. Neves; A. de Matos y J. de Souza. 2005. Utilizacáo de agua residuaria de origem domestica na agricultura: estudo das alteracoes quimicas do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental 9(4). pp: 603-612.

Morató, J; Subirana, A; Gris, A; Carneiro, A; Pastor, R. 2006. Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. Rev. Lasallista Invest. (Colombia). pp: 3:19-29.

Moreno María Alejandra y Villafañe Roberto. 2009. Distribución espacial de la humedad en tres perfiles de un suelo regado por goteo. Nota técnica Bioagro v.21 n.3 Barquisimeto.

Moscoso, J. 1993. Reúso de aguas residuales en Perú. Taller regional para América sobre aspectos de salud, agricultura y medioambiente, México.

Muyen, Z. Moore, G., Wrigley, R. 2011. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. Agricultural Water Management. Vol. 99, No. pp: 33-41.

O'connor, T 2010. Rodrigo, D.; Cannan, A. 2010. Total water management: The new paradigm for urban water resources planning. World Environm and Water Res. Congress. Challenges of Change – Proc. the World Environm. Water Res. Congr. p.32513260.

Ontiveros-Capurata, R.E; Diakite-Diakite, L; Álvarez-Sánchez, M.E. & Coras-Merino, P.M. 2013. Assessment of the use of wastewater for irrigation in Mexico City. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. IV, No. 4. pp: 127-140.

Oron, G., L. Guillerman, Y. Manor, T. Halmut y R. Armon. 2001. El riego por goteo subterráneo como medio de recuperación de aguas residuales. Rev. Int. de Agua y Riego, 24(4). pp:32–34.

Peña, M. 2002. Advanced primary treatment of domestic wastewater in tropical countries: development of high-rate anaerobic ponds. Ph. D thesis. School of Civil Engineering, University of Leeds. United Kingdom.

PESCOD, M.B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. Irrig. Drain. (Italia). Paper 47. p:400.

Plan Nacional de Riego (PNR). 2015. Gestión integral de riego a partir de fuentes de aguas subterráneas. Elementos para evaluar buenas prácticas. Ministerio de agricultura Ganadería y Pesca.

Rodríguez, T; Arruda, S; Cleidson, F; Machado, F. y Arnaldo, L. 2006. Produtividade de de milho e de Feijoo consorciados adubados con diferentes formas de lodo de esgoto. Revista de la Ciencia del Solo y Nutrición Vegetal. 6(1). pp:52-63.

Sánchez-Hernández, M. A; Hernández-Acosta, E., & Cristóbal-Acevedo, D. (2013). Caracterización de suelos regados con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4(5), pp: 811-817.

Segal, E; Dag, A; Ben-Gal, A; Zipori, I; Erel, R; Suryano, S; Yermiyahu, U. 2011. Olive orchard irrigation with reclaimed wastewater: Agronomic and environmental considerations. Agr., Ecosyst. Environm. (USA). 140 pp: 454-461.

Silva, Jorge; Torres, Patricia; Madera, Carlos. 2008. Reúso de aguas residuales domesticas en la agricultura. Una revisión. www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732020 ISSN 0120-9965. Ultimo acceso agosto 2022.

Smith, C.J; Hopmans, P; Cook, F.J. 1996. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. Environmental Pollution, v.94, n.3, pp: 317-323,

Stewart, H.T.L; Hopmans, P; Flinn, D.W. 1990. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. Environmental Pollution, v.63, n.2, pp.155-177.

Van Der Hoeck, W; Hassan, U.M; Ensink, J.H.J; Feenstra, S; Raschid-Sally, L; Munir, S; Asla, M. R; Alim, N; Hussain, R and Matsuno, Y. 2002. Urban wastewatr: A valuable resource for agriculture. A case study from horoonabad, Paskitan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. (Research Report, 63) p:20.

Zamora, F; Rodríguez, N; Torres, D. y Yendis, H. 2008. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro. Estado Falcón. Bioagro. 20(3) pp:193-199.