

**Riego complementario con efluentes cloacales domiciliarios tratados:
utilización de muestras de suelos tomadas en columnas intactas para la
evaluación expeditiva de sus efectos sobre el mismo ****

Scarone, Jorge Gabriel

**Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.
Avda. Belgrano Sur 333, Santa Rosa (6300) La Pampa, jscarone49@gmail.com*

RESUMEN

Se sabe, el agua es un recurso inapreciable y limitado, particularmente la apta en su condición natural para consumo humano y riego. Se estima que en los próximos 30 años se requerirá de un 60% más de alimentos para satisfacer las demandas de la población creciente, los que en el último año y a nivel global, duplicaron su precio el que quedó íntimamente ligado al del petróleo.

Es necesario optimizar el uso de agua en la agricultura, mejores obras de aprovechamiento, el acopio y conservación de la de lluvia y hacer un mayor gasto de aguas residuales y de baja calidad para el riego de los cultivos y el consumo humano. Combinando estas propuestas, se considera como posible que con un aumento del 14% del agua utilizada, se pueda satisfacer el crecimiento en la producción de alimentos durante varias décadas.

Los líquidos efluentes domiciliarios depurados debieran ser considerados un aporte a la creciente demanda hídrica, así lo han realizado algunos países desde tiempos históricos. En cambio en Argentina, el destino de espejos de agua antrópicos - particularmente en las localidades mediterráneas de la región semiárida pampeana- parece ser hoy, su destino ambiental.

Aquí se propone la utilización para riego complementario de estas aguas y se prueban en una simulación de riego expeditivo en columnas intactas de muestras de suelos, los efectos que las mismas pudieran producirle en cierto tiempo.

El método es bueno, sencillo y económico para una primera aproximación a los efectos sobre los suelos que estas aguas, de cierto riesgo, pudieran producir. Su destino ambiental en esta opción, resulta superador del actual.

Palabras clave: simulación – riego - efluentes cloacales tratados

** El presente trabajo es una síntesis de la Tesis inédita del autor, para lograr su Maestría en Ingeniería Ambiental que ofrece la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.

SUPPLEMENTARY IRRIGATION WITH SEWAGE EFFLUENTS TREATED ONSITE: USE OF SOIL SAMPLES TAKEN IN INTACT COLUMNS FOR THE ASSESSMENT OF ITS EFFECT

Scarone, Jorge Gabriel

**Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.
Avda. Belgrano Sur 333, Santa Rosa (6300) La Pampa, jscarone49@gmail.com*

ABSTRACT

As we know, water is a precious and limited resource, particularly in its natural condition suitable for human consumption and irrigation. It is estimated that in the next 30 years, 60% more food will be required to meet the demands of a growing population. In the past year, at a global level, food has doubled its price which has been closely linked to that of oil.

It is necessary to optimize water use in agriculture, improve the collection and storage of rainfall and make a greater expenditure of wastewater and low quality water for crop irrigation and human consumption. Combining these proposals, it could be possible to increase up to 14% of the amount of water used, and thus we could meet the growth in food production for the next decades.

Purified home waste water effluents should be considered a contribution to the growing demand for water, and some countries have done this since time immemorial. However, in our country the fate of anthropic wastewater lakes, particularly in the Mediterranean towns of the Pampean semiarid region-seems to be environmental.

Here, we propose the use of these sources of water for supplementary irrigation, and this use was tested in a simulation of expeditious irrigation in intact columns of soil samples, to assess short-time effects.

The method is good, simple and economical for a first approximation to the effects on soils that these types of water could produce. This option seems to be better than the present environmental fate.

Keywords: simulation irrigation effluents sewage treatment

1.- INTRODUCCIÓN

Se estima que en los próximos 30 años se requerirá de un 60% más de alimentos para satisfacer las demandas de la población creciente. Los que, en el año 2007 y a nivel global, duplicaron su precio, el que quedó íntimamente ligado al del petróleo (discurso Presidenta Bachelet en FAO, 20 mayo 2008), manteniéndose esta tendencia en la actualidad. Más de 800 millones de personas del planeta no cuentan con ínfima seguridad alimentaria. La mayor parte del crecimiento de la oferta procederá de la intensificación de la agricultura de regadío (FAO 2002).

Se prevé que para el año 2030, las áreas bajo riego de los países en desarrollo podrían aumentar un 20% y los estudios determinan que la mayor concentración de producción de alimentos se ubicará en las áreas bajo riego, de las cuales existen cerca de 250 millones de hectáreas, las que son responsables del 17 % de toda el área cultivable del mundo, y contribuyen con el 40% de los alimentos que se consumen a nivel mundial (Rodríguez, 1999).

Por esta razón, cabe preguntarse de dónde se sacará el agua necesaria para atender la creciente demanda por los alimentos, por el aumento poblacional y por la incorporación a la economía de mercado de naciones históricamente subalimentadas, como resulta hoy China y probablemente ocurra con los países africanos en la medida que la “globalización” alcance a los derechos humanos, democracias participativas o sistemas alternativos con enfoque social.

A estos fines bien podrían mejor aprovecharse las aguas residuales que, se supone, se usó desde el mismo inicio de la práctica cultural del riego. Se conoce la intención de su eliminación o recuperación del deterioro sufrido, por la construcción de alcantarillas como las localizadas en lugares prehistóricos de Creta, o en muy antiguas comunidades asirias. Asimismo, los romanos se destacaron en sus abastecimientos urbanos y eliminación por canales de desagüe que combinaban la acción cloacal y residual con la pluvial. La depuración hizo que estos usos se ampliaran y luego, los avances en la ciencias en general y la ecológica en particular, aparejado al reclamo de sectores de la población, hizo que los denominados procesos de depuración adquirieran sustancial importancia a partir de los años sesenta, monitoreándose además, en forma creciente con cada vez mejores y más sensibles métodos, a ríos, lagos, océanos, acuíferos subterráneos, aire, suelos, etc. La lamentable noticia es que cada vez aparecen signos de contaminación creciente o incrementos en el riesgo de ésta.

En los últimos años los procesos mejoraron sustancialmente, enfatizándose cada vez más y con mayor ímpetu, en la reutilización de las aguas residuales, práctica extendida y aceptada en numerosos estados nacionales.

La Asociación de Riego de los EEUU, (Irrigation Association, 2002) consideró en su Congreso del 2002, que para satisfacer el crecimiento en el uso del agua en la agricultura, previsto a nivel mundial para el 2025 se requerirá, entre otras medidas, **incrementar el uso de aguas residuales tratadas o recicladas.**

En tanto en Argentina existe una problemática, compartida por numerosas ciudades mediterráneas del país, las que no poseen cuerpos receptores económica y ambientalmente sustentables, cuestión que debiera ser atendida con una adecuada priorización en las políticas gubernamentales regionales.

La investigación que aquí se relata propende a plantear un uso alternativo a los recursos hídricos de origen cloacal, a la vez que sumar un aporte al conocimiento de los efectos de la utilización de tal recurso como riego integral o complementario. En el afán de encontrar un mejor destino ambiental a los cloacales tratados, como es su incorporación al suelo como riego, se podría estar incurriendo en otra falla ambiental, menos visible en lo inmediato, pero de similares consecuencias en caso de no atenderse mínimas condiciones de conservación y bioseguridad.

Numerosa bibliografía menciona la utilización de efluentes domiciliarios e industriales tratados, o no, para riego. Es así que constituye, aparte de una práctica común se insiste, en muchos países y una de las más antiguas formas de demanda de uso de aguas (Paliwal *et al*, 1998). Esta re-utilización de aguas resulta particularmente atractiva en localidades o industrias donde la posibilidad de existencia de Elementos Potencialmente Tóxicos (Potentially Toxic Elements, PTEs) que básicamente son los denominados “metales pesados” (Cd, Pb, Hg, Zn, Cr, Ni) es bastante remota por las características de sus actividades, aún cuando debieran ser consideradas cuidadosamente al momento de tomar la decisión de su uso (Smith S.R., 1996).

2.- HIPÓTESIS

La utilización de columnas de muestras de suelos, tomadas sin disturbar el material original (intactas) a las que luego se aplicará una simulación de riego complementario con líquido cloacal tratado, constituye un método relativamente expeditivo y económico, para una primaria evaluación de los efectos ambientales agronómicos.

3.- OBJETIVOS

En función de tal hipótesis se puede plantear un objetivo principal que expresa:

Probar, en condiciones de campo, el uso de columnas de muestras de suelos sin disturbar el material original, las que serán sometidas a una simulación de riego complementario con efluentes cloacales tratados, para evaluar sus posibilidades de uso en la estimación de eventual afectación edáfica y detección de parámetros a monitorear.

A poco de plantear el referido objetivo principal, aparecen algunos elementos que serán consignados como **objetivos secundarios**, entre los que se tiene:

- a) *Evaluar la presencia y los peligros sanitarios de los contaminantes que pudieran contener los líquidos tratados.*
- b) *Mensurar el probable aumento de salinidad en los suelos estudiados, con el objetivo de evaluar la potencialidad predictiva del método.*
- c) *Establecer la existencia de parámetros edáficos fácilmente mensurables, los que podrán utilizarse como prioritarios para un eventual monitoreo ambiental, particularmente por su aptitud productiva.*

Así, aparecen técnicas de muestreo de suelos, ampliamente utilizadas, con otros o similares fines, que podrían resultar de interés en los aspectos que se espera relevar. En este sentido las muestras de suelos tomadas en columnas sin disturbar, son ampliamente difundidas como elementos importantes a la hora de realizar ensayos o pruebas diagnósticos, tal como las aplicadas para la verificación de la movilización de metales pesados inducida por quelatos (Wenzelet al, 2003).

4.- MATERIALES Y METODOS

Como técnica, se realizó la extracción de columnas de suelo sin disturbar de horizontes laborables las que, colocadas en cámaras con temperatura controlada (45°C), fueron sometidas a riegos intensos, tratando de simular, en el menor tiempo posible, una secuencia de cinco años de riego complementario con distintos efluentes y suelos.

A efectos del muestreo se utilizaron columnas de 45 cm altura, de tubería PVC de 110 mm de diámetro resistencia 6 kg. cm⁻² (**Fig. 1**), las que fueron hincadas por percusión en el suelo a muestrear. Luego, se les fijó en el fondo una tapa perforada para drenaje, se estableció en forma práctica la lámina de riego que podían soportar sin que existiera lixiviado y se procedió a aplicarla en una secuencia riego – secado – riego hasta completar los 1000 mm planteados en la metodología, equivalentes a un período de riego complementario de 200 mm.año⁻¹ durante 5 años de un cultivo de trigo. El lapso total del ensayo fue de dos meses, período que requirieron las muestras de suelos más pesados, estimándose que en suelos arenosos sería mucho menor, como se comprobó con posterioridad, en el transcurso de la ya referida Tesis (45 días de tratamiento riego-secado-riego).

A fin del análisis estadístico se realizaron cinco repeticiones de cada tratamiento aplicándose tres tratamientos en total: 1) testigo sin riego; 2) riego con agua subterránea local; 3) riego con el efluente cloacal tratado.

Las columnas muestra fueron introducidas en ubicaciones al azar en la estufa de secado, realizándose una rotación, también al azar, en cada ocasión de simulación de un riego. De esta manera el ensayo se constituye en un experimento completamente aleatorizado.



Fig. 1: Tubos para simulación de riego con sus perforaciones para drenaje e identificación (como se aprecia un elemento sumamente sencillo)

Una vez concluida esta prueba las muestras fueron sometidas a un ensayo de conductividad hidráulica, medida con un infiltrómetro de suelos de 4 cm de diámetro y carga hidráulica constante de 4 cm soportado por una columna de vidrio de 15 cm de alto. En este caso fue posible realizar las repeticiones necesarias para el análisis estadístico. En lo que hace a las determinaciones químicas, por razones de costo de los laboratorios se eliminaron las repeticiones de algunos elementos, fundamentalmente los metales pesados. No obstante y en la medida que existieran resultados que lo indiquen, las mismas debieran realizarse para su correcta validación estadística.

Luego de terminadas las pruebas hidráulicas establecidas, se acondicionaron las muestras según el respectivo manual de procedimientos confeccionado para el caso y fueron remitidas a los laboratorios de análisis que le correspondieran. Se ejecutaron registros fotográficos de todas las acciones y sitios de muestreo.

Si bien en el trabajo original se estudiaron dos localidades, por razones de espacio en este informe se analizará lo sucedido en Santa Rosa únicamente. Ciudad en la que sus efluentes cloacales son tratados en una planta convencional con sistema de lagunas seriadas y facultativas, cuya disposición final se realiza en una laguna artificial que ya supera las 1500 ha afectadas, circunstancia que genera un importante problema ambiental local.

El trabajo de campo consistió en mantener en las mismas condiciones distintas columnas-tratamiento con sus repeticiones.

- **Tratamiento testigo, sin riego. En adelante (T).**
- **Tratamiento con riego, aplicando agua subterránea ordinaria de la localidad estudiada. En adelante (AP), de agua pura.**
- **Tratamientos con riego aplicando el efluente cloacal tratado. En adelante (EC) de efluente cloacal.**

Se realizaron las mediciones que permitieron calificar al suelo por su aptitud agronómica pre y post tratamientos de riego. De la misma forma, se analizó el agua o efluente a aplicar, considerando los parámetros habituales para riego y los valores que adquieren importancia agronómica y sanitaria por tratarse de efluentes.

Los resultados obtenidos fueron sometidos al análisis estadístico de los experimentos según métodos recomendados por Pimentel Gómez (1978) y Kuhel Robert ((2001) los que comprenden: Análisis de la Varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en cada parámetro y en aquellos que hubo diferencias significativas se evaluó las mismas por medio de métodos para la separación de medias; utilización del Test de Tuckey HSD y cuando se necesitó tener mayor seguridad de que las medias son distintas, LSD o Duncan. Cuando se requirió mayor seguridad de que las medias no son diferentes estadísticamente; en aquellos parámetros que muestren heterosedasticidad o falta de normalidad, se hicieron las transformaciones que permitan corregirlas. De lo contrario se previó utilizar análisis que no sean afectados por esta falta en los supuestos del ANOVA; o, en aquellos casos que se justifique o lo requieran los datos obtenidos, se previó hacer uso de Regresión en el Análisis de la Varianza.

Para el análisis estadístico se utilizó el software Statgraphics Plus y BMDP New Systems versión 1.1 para WINDOWS.

Los análisis necesarios se efectuaron mediante la siguiente metodología analítica:

- a) Determinación del contenido de plomo total (EPA 7420); níquel total (EPA 7520); mercurio en suelos/sólidos (EPA 7471); cobre total (EPA 7210); zinc total (EPA 7950); cadmio en suelos/sólido (EPA 7130); arsénico (EPA 7061); fluoruro (EPA 9056)
- b) Determinación de: MAT. ORG (%); HUM EQU. (%); pH pasta; RAS; PSC; C.E. (dS/cm); CALCIO (meq/100g); MAGNESIO (meq/100g); SODIO (meq/100g); POTASIO (meq/100g); VALOR S (meq/100g); H de cambio (meq/100g); CIC (meq/100g); Columna de Infiltración (mm/min); ARCILLA (%); LIMO (%); ARENA (%)

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo objeto de estudio se clasificó como un Haplustoléntico y su localización corresponde a una falda de loma en proximidades de la planta de depuración de aguas al sur de la ciudad de Santa Rosa.

Los resultados promedio se muestran en Tabla 1 para la localización Santa Rosa. De la misma se desprende que hay un *altamente significativo* incremento en las sales del suelo denotado por el ascenso de la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio. Aunque se observó que al alcanzar los cinco años de riego que simula el ensayo, tal ascenso no haría peligrar todavía el rendimiento del eventual trigo.

El ligero incremento en la Materia Orgánica y descenso del pH podría deberse al aporte de sólidos orgánicos en suspensión o disueltos en el líquido cloacal, aunque en ningún caso alcanzarían a valores estadísticamente *significativos*.

El incremento *significativo* en los cationes analizados se correspondería con el aumento en las sales ya descrito y, en lo que hace a la disminución de la infiltración, podría explicarse en la aptitud selladora de la superficie aportada por los materiales en suspensión y cierta movilización de coloides del suelo.

Los demás elementos considerados no se incrementaron por la aplicación de riego en ningún caso, se estima que éstos –en caso de estar presentes en el líquido cloacal- quedaron sedimentados en los barros de las lagunas facultativas.

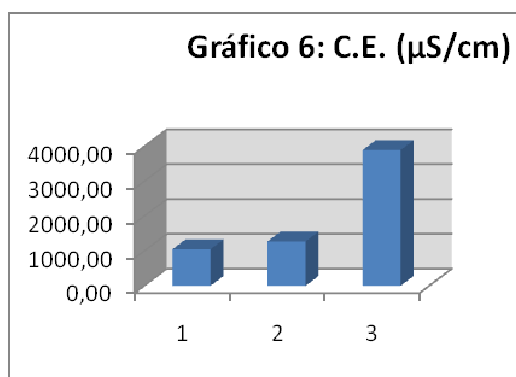
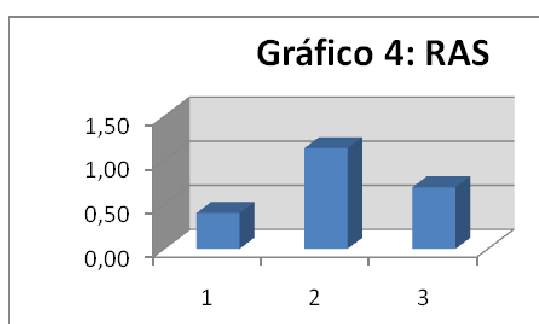
Tabla 1: Tabla comparativa de resultados promedios de análisis de suelos tratados

RESULTADO	TESTIGO (T)	RIEGO CON AGUA PURA (AP)	RIEGO CON EFLUENTE CLOACAL (EC)
MAT. ORG (%)	1.51	1.44	1.55 NS
HUM EQU. (%)	23.19	23.77	23.94 NS
pH pasta	5.97	6.23	5.88 NS
RAS	0.41	1.14	0.698 AS
PSC	-1.00	0.2	0.2 NS
C.E. (dS/cm)	1052.00	1278	3900 AS
CALCIO (meq/100g)	19.93	19.75	17.04 S
MAGNESIO (meq/100g)	5.13	4.73	8.02 S
SODIO (meq/100g)	1.10	1.944	2.024 S
POTASIO (meq/100g)	1.79	1.404	2.01 NS
VALOR S (meq/100g)	27.95	27.86	29.09 NS
H de cambio (meq/100g)	1.41	2.14	3.14-
CIC (meq/100g)	29.37	30.67	32.24NS
Columna de Infiltración (mm/min)	6.69	5.60	2.56 S
ARCILLA (%)	23.19	23.77	23.94 -
LIMO (%)	41.68	42.89	43.36 -
ARENA (%)	35.13	33.34	32.83 -
PLOMO Total (mg/kg MS)	12.70	20.1	13.2 -
NÍQUEL Total (mg/kg MS)	9.80	8.9	10.6 -
MERCURIO en Suelos/Sólidos (mg/kg MS)	0.06	0.31	0.03 -
COBRE Total (mg/kg MS)	18.20	16	20.2 -
CINC Total (mg/kg MS)	44.30	35.7	45.8 -
CADMIO en Suelos/Sólidos (mg/kg MS)	1.00	1.3	1.3 -
ARSENICO (mg/kg MS)	2.40	2.5	1.4 -
FLUORUROS (mg/kg MS)	≤1,0	≤1,0	≤1,0 -

Estadísticos: NS = No significativo; S = Significativo; AS = Altamente significativo

Fuente: Datos propios

Abajo se muestran los resultados para Santa Rosa que, a nivel estadístico, mostraron diferencias altamente significativas a los distintos tratamientos aplicados.



Diferencias mínimas altamente significativas

Referencia: Columna 1 Testigo; Columna 2 Riego con agua pura; Columna 3 Riego con efluente tratado.

Por razones de espacio y con fines demostrativos se muestra una pequeña proporción de los datos emergentes de las columnas de simulación.

9.- CONCLUSIÓN

La información relevada permite anticipar lo que sucedería al suelo en caso de ser sometido al riego y detectar aquellos factores a priorizar en el posterior monitoreo ambiental en las condiciones reales. Cabe consignar que la mencionada afectación probablemente resultara el peor escenario posible, ya que en la condición de secado forzado del suelo, han sido eliminadas variables morigeradoras de la misma, como son el tiempo para que sucedan fenómenos físico-químicos atemperadores, las lluvias y la mayor parte de la actividad microbiana.

En consecuencia el ensayo propuesto permite estimar el mayor nivel de riesgo ambiental, a un relativo bajo costo y sin depender de una gran capacidad técnica. Circunstancias que permiten proyectar actividades productivas, establecer planes de monitoreo y considerar la potencial sustentabilidad del modelo propuesto.

El uso de las aguas cloacales para riego es un hecho, que deberá intensificarse para el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y disminución de la alta entropía de los líquidos residuales, reservando para otros usos a las aguas de mejor calidad.

10.- BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Adishesha, H. T.; *et al* (s.d.); (1997); "WaterSci. Tech". **35**, 2054. H.T.
- Adriano D.C., W.W. Wenzel, J. Vangronsveld, N.S. Bolan (2004) "Role of assisted natural remediation in environmental cleanup" GEODERMA on line www.sciencedirect.com
- Anunziata O.A. (2001) Apuntes Curso "Metodología de la Investigación". Centro de Investigación y Tecnología Química, Facultad Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Rep. Argentina.
- AOAC International (1992) "Bacteriological Analytical Manual" 7th, 500 pp.
- Armon R.; H. Bouwer; E. Idelovitch; (1994); Water Science; Tech 30, 239; Irrigation y Drainaje Eng. 113, 516.
- Armstrong D., Detrick D., McPhee J. and Cotching B. (2001) Using Recycled Water for Irrigation. Wise Watering. Irrigation Management Course. Departmente of Primary Industries Water and Environment. Tasmania and Natural Heritage Trust, Helping Communities Helping, Australia.
- Asano, T.; (2001) "Reutilización de las aguas residuales para aplicaciones no potables: una introducción", Revista Internacional de Agua y Riego 21 (3): 18-24.
- Ayers, R.S.; D.W. WESTCOTT; (1987) "La calidad del agua en la agricultura", *Rev. 1*, 174 pp., Serie Riego y Drenaje 29, Roma: FAO.
- Ayers, R.S.; D.W., Westcott; (1987); "La calidad del agua en la agricultura"; *Rev. 1*, 174 pp., Serie Riego y Drenaje 29; FAO; Roma.

Berger, A.R. & W.J. Iams (1996) "Geoindicators Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems" Rotterdam. A.A. Balkema.

Brewe, J.A. *et al.*, *Bioresource Tech.* 67, 161 (1998).

Siguen 61 autores en el original.