

# **DRENAJE AGRICOLA CON NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU) Y SU EFECTO SOBRE LA SALINIDAD DEL SUELO**

Orozco-Corral, Alfonso Luis <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo La Norteña. Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Km. 98.5 Carr. Chihuahua-Cuauhtémoc. Fraccionamiento Real del Monte. C.P. 31552 Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Tel. +52 (625) 590-2537. Fax +52 (625) 590-2538. [alfonsoorozco@grupolanortenita.com](mailto:alfonsoorozco@grupolanortenita.com)

## **RESUMEN**

Según FAO (1990), el riego deteriora una superficie de suelo igual a la que entra en servicio bajo irrigación, debido a la salinización y saturación causada por drenaje inadecuado y riego excesivos. Los NFU son un serio problema ambiental por su lenta descomposición, riesgos de incendios y su contribución a la propagación de enfermedades infecciosas y cancerígenas por la inhalación de sustancias provenientes de la combustión incompleta. Además de la gran captación de agua, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del drenaje agrícola con NFU, sobre la salinidad del suelo. Este estudio se llevó a cabo en 2008-09, en la región manzanera de Chihuahua: 1) Huerta Macetas (253 ha), se implementó un sistema de drenaje agrícola con NFU en una extensión de 8.5 Km, en un lote de 75 has, para lo cual se utilizaron 51 mil neumáticos. 2) Huerta Rosario (570 ha) con drenaje natural como testigo. Mensualmente se tomaron muestras de las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, se analizó la conductividad eléctrica (CE) y se determinó la humedad volumétrica (Hv). Los resultados indicaron que el drenaje agrícola con NFU captó 1.1 Mm<sup>3</sup> de agua. Donde se implemento el drenaje con NFU hubo una significativa reducción de la CE en la profundidad 60-90 comparado con el testigo. El porcentaje de Hv fue altamente significativa en las tres profundidades, lo que pone de manifiesto que el drenaje con NFU favorece el lavado de las sales. Se reducen los impactos ambientales negativos sobre la salud, suelo, además de influir para un aprovechamiento integral del agua al permitir la captación del agua de drenaje agrícola y su reutilización.

## **INTRODUCCION**

En determinadas condiciones no es posible el desarrollo de un cultivo rentable sin los beneficios del riego, tampoco es posible sin la ayuda del drenaje y un aprovechamiento integral del agua. La necesidad del drenaje agrícola y los beneficios que aporta para la agricultura siempre han sido difíciles de entender. Las razones de esto se explican por el hecho de que las obras de drenaje requieren de trabajos especializados e implica plazos en los cuales no se ve de inmediato el beneficio que aportan. Ha sido más fácil ver la necesidad e importancia del riego que la del drenaje agrícola (Abdel-Dayem, 1987; Abdel-Dayem et al., 1989).

Las raíces de las plantas no solo necesitan de la presencia del agua como elemento de transporte de nutrientes del suelo, sino que también necesitan aire para la respiración e intercambio de gases con la atmósfera. Si el suelo está totalmente saturado de agua el aire no podrá circular por sus poros y las raíces no podrán realizar sus funciones fisiológicas (Doorembos y Pruitt, 1974; FAO, 1998).

Las tierras con exceso de humedad favorecen la disolución de las sales perjudiciales que por ascenso capilar se acumulan en la superficie del suelo, causando gran afectación o la muerte del cultivo. Los conductos de drenajes permiten eliminar estas sales con la evacuación de las aguas en exceso. La penetración de las raíces en el suelo asegura una mayor superficie de captación de nutrientes y un mejor anclaje de la planta en el terreno (Cavelaars, 1974; Cavelaars et al., 1994; Madramootoo et al., 1997).

La cantidad y el estado del agua en el suelo y sus cambios, pueden impactar dramáticamente sobre los cultivos y la absorción de nutrientes. El desarrollo de mejores prácticas de manejo para hacer los cultivos más eficientes y reducir el impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas, requiere gran conocimiento de los factores que afectan la dinámica del agua en el suelo (Martínez Beltrán, 1978; Orozco, 2008).

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso (NFU). Representan un serio problema ambiental por su lenta descomposición, los riesgos de incendios y su contribución a la propagación de enfermedades infecciosas.

Los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas extremas, son resistentes al ozono, la luz y las bacterias, lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. El almacenamiento de los NFU en basureros no permite recuperar ni energía ni materia, son refugio ideal de insectos y roedores, además acumulan gases y otras sustancias frecuentes en los basureros (Vogler, 1974).

Los neumáticos son estructuras tubulares complejas compuestas fundamentalmente de caucho natural, cauchos sintéticos (estirenobutadieno, polisoprenos y polibutadienos), negro de humo, agentes químicos (azufre, óxido de zinc y aditivos), aceites minerales y fibras reforzantes (ITRA, 2009).

Al quemarse un NFU se rompe la estructura molecular del caucho desprendiendo partículas de carbono muy finas, la mayoría de ellas posee un diámetro inferior a 10 micrones y constituye lo que se denomina fracción respirable, de modo que al ser aspirado ese aire, las partículas son transportadas a lo largo del aparato respiratorio llegando hasta los alvéolos pulmonares. La inhalación de sustancias peligrosas provenientes de la combustión incompleta de los NFU, incorpora al organismo sustancias como el amoníaco, monóxido de carbono, alcohol metílico, dioxinas, ácido clorhídrico y monómeros clorados cancerígenos (EPA, 2009).

El riego incrementa los problemas de salinidad, principalmente en las zonas áridas y semiáridas donde la evaporación superficial es más rápida y los suelos más salinos. La saturación concentra las sales absorbidas de los niveles más bajos del perfil del suelo, en la zona de arraigamiento de las plantas. La alcalinización (acumulación de sodio en los suelos) es una forma perjudicial de salinización que es difícil de

corregir. Aunque los suelos de las zonas áridas y semiáridas tienen una tendencia natural de sufrir salinización, muchos de los problemas relacionados con el suelo podrían ser atenuados si se instalan sistemas adecuados de drenaje (Martínez Beltrán, 1978; Smedema and Rycroft, 1983; Ayers and Westcot, 1985).

Para poder planificar el riego de un huerto es necesario conocer la capacidad para almacenar el agua que tiene el suelo, lo cual está relacionado con sus características físicas, principalmente con su profundidad, textura, estructura y el drenaje. Es importante determinar la curva de capilaridad y velocidad de infiltración para poder calcular el área de influencia del emisor (bulbo de humedad). Así mismo, debemos conocer la capacidad de campo (CC), punto de marchites permanente (PMP) y densidad aparente (Da), con los cuales se calcula la capacidad de retención de humedad y el volumen de agua a aplicar en cada riego. (Orozco, 2008)

Se formuló la hipótesis de que el drenaje agrícola con neumáticos fuera de uso podría no incidir positivamente sobre la disminución del contenido de sales en el suelo, debido a que no hay antecedentes sobre drenajes de este tipo.

Además de la gran captación de agua, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto que ejerce la implementación de un sistema de drenaje agrícola utilizando neumáticos fuera de uso sobre la concentración de sales en el suelo.

## **MATERIALES Y METODOS**

Este estudio se llevó a cabo entre el 2008-09, en la región manzanera de Chihuahua en dos huertas (Macetas y Rosario) localizadas en el municipio de Guerrero cuyas coordenadas son: Latitud 28° 27' norte y longitud 107° 12' oeste; altitud de 2,136 msnm, temperatura media de 14.4 °C y precipitación pluvial anual promedio de 380 mm (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de la zona de estudio y distribución del sistema de drenaje agrícola con NFU

En huerta las Macetas, de 253 has se implementó un sistema de drenaje agrícola con NFU con una extensión de 8.5 Km, distribuidos en una área de 75 has de plantación con manzanos, para lo cual se utilizaron 51 mil NFU. El riego es por microaspersión y es manejado de manera tradicional (Figura 2).



**Figura 2.** Drenaje agrícola con NFU.

Como testigo se tomó a la huerta el Rosario de 570 has plantadas con manzanos donde el drenaje del suelo es natural. El riego es por microaspersión manejado mediante la programación basada en estudios del suelo, clima y necesidades hídricas del cultivo y es optimizado a través del uso de sondas de capacitancia FDR.

En cada huerta se marcaron 20 sitios para la toma mensual de muestras de suelo a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm durante los ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09. Las medidas de conductividad eléctrica (C.E) se realizaron por el método de extracción acuosa en las muestras del suelo, con un probador Hanna Instruments modelo HI-98303 con sensores de grafito.

El drenaje fue calculado en base al balance de agua del suelo mediante la siguiente ecuación (Arauzo et al., 2003).

$$D = Pp + LR - ETo \pm Hv$$

Donde: D = Drenaje; Pp = Precipitación pluvial; LR = Lámina de riego; ETo = Evapotranspiración de referencia; Hv = Humedad volumétrica del suelo a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm.

El diseño experimental utilizado fue de dos tratamientos con 20 repeticiones en cada localidad. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión 15.0. Se realizó el análisis de Pearson para identificar el nivel de asociación entre la C.E y la Hv del suelo a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, la variación de las dosis de riego aplicadas (LR) y Drenaje (volumen de agua drenada por debajo de la zona radicular). Se efectuó un análisis de regresión lineal para identificar el comportamiento de las sales en el suelo de cada huerto según el contenido de humedad a las tres profundidades de la zona radicular de 0-30, 30-60 y 60-90 cm y las variaciones de las LR y Drenaje.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El suelo es de origen aluvial, poco profundo con un drenaje de moderado a deficiente y se determinaron seis diferentes clases texturales. La textura de 0-30 cm es variable predominando la arena. En la profundidad 30-60 cm predominan las arcillas, constituyendo una capa impermeable por lo que se dificulta el drenaje y en la profundidad 60-90 cm predominan las arenas con bastantes elementos finos. Conforme aumenta la profundidad, el contenido de arcilla asciende considerablemente hasta los 70 cm, luego desciende paulatinamente. Por debajo de 1.5 m se encuentra una capa de grava de espesor variable.

En el cuadro 1 se muestran las LR del ciclo agrícola 2007-08 en la zona de estudio, las cuales fueron de 948 mm en Huerta el Rosario y 1,720 mm en Huerta Macetas y en el 2008-09 de 564 mm y 1,570 mm respectivamente.

**Cuadro 1.** Láminas de riego (LR) aplicadas en la zona de estudio durante los ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09.

<b>CICLO AGRICOLA</b>	<b>ROSARIO</b>	<b>MACETAS</b>
<b>2007-08</b>	948 mm	1,720 mm
<b>2008-09</b>	564 mm	1,570 mm

En el cuadro 2 se puede apreciar la cantidad de agua drenada de 90 mm en el ciclo 2007-08 y 172 mm en 2008-09 en el Rosario contra 189 mm y 242 mm respectivamente en Macetas. Dichos cantidades fueron menores en el Rosario, donde se hizo la programación del riego, monitoreando la humedad del suelo con sondas de capacitancia FDR.

**Cuadro 2.** Cantidad de agua drenada en la zona de estudio durante los ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09.

Mes	ROSARIO		MACETAS	
	2007-08 (mm)	2008-09 (mm)	2007-08 (mm)	2008-09 (mm)
Octubre	1	1	3	2
Noviembre	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0
Enero	0	0	1	1
Febrero	0	0	1	2
Marzo	1	1	4	3
Abril	36	38	45	53
Mayo	12	16	26	31
Junio	15	38	42	49
Julio	14	44	47	53
Agosto	9	22	21	36
Septiembre	2	5	6	12
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>165</b>	<b>196</b>	<b>242</b>

En el Cuadro 3 se muestra el volumen de agua por drenaje natural en el Rosario, en 570 has fue de 1.5 Mm<sup>3</sup> en los dos ciclos y en las Macetas fue de 1.1 Mm<sup>3</sup> en 253 has, los cuales fueron captados por el sistema de drenaje con NFU para su reutilización en los riegos (Figura 3). Dichos volúmenes fueron muy similares en ambas localidades, sin embargo en la primera es el doble de superficie irrigada.

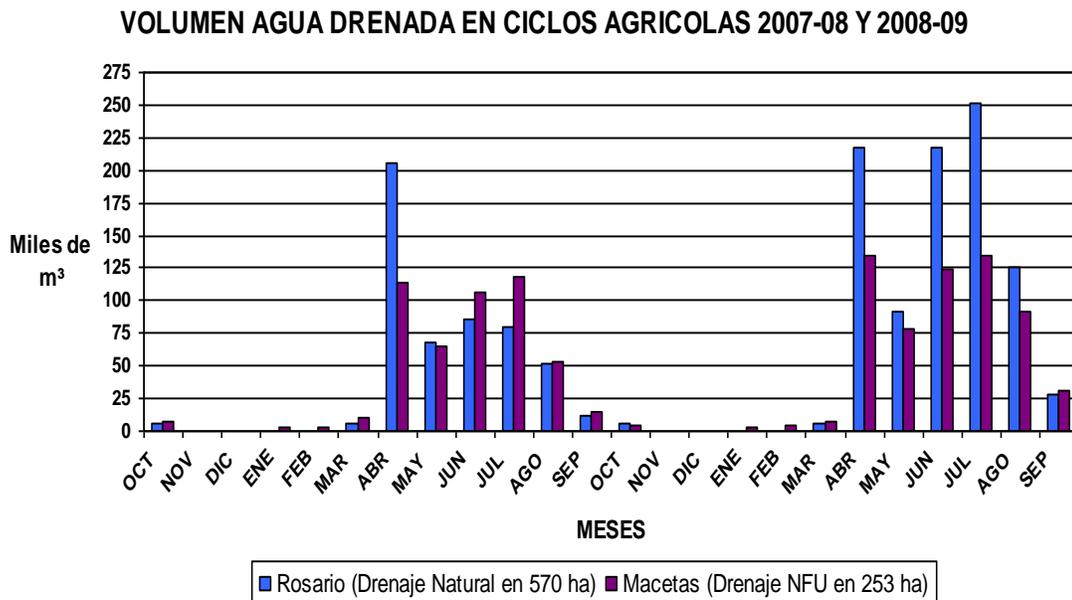
**Cuadro 3.** Volumen de agua por drenaje en la zona de estudio durante los ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09.

CICLO AGRICOLA	ROSARIO	MACETAS
2007-08	513,000	495,880
2008-09	940,500	612,000
<b>TOTAL</b>	<b>1.5 Mm<sup>3</sup></b>	<b>1.1 Mm<sup>3</sup></b>



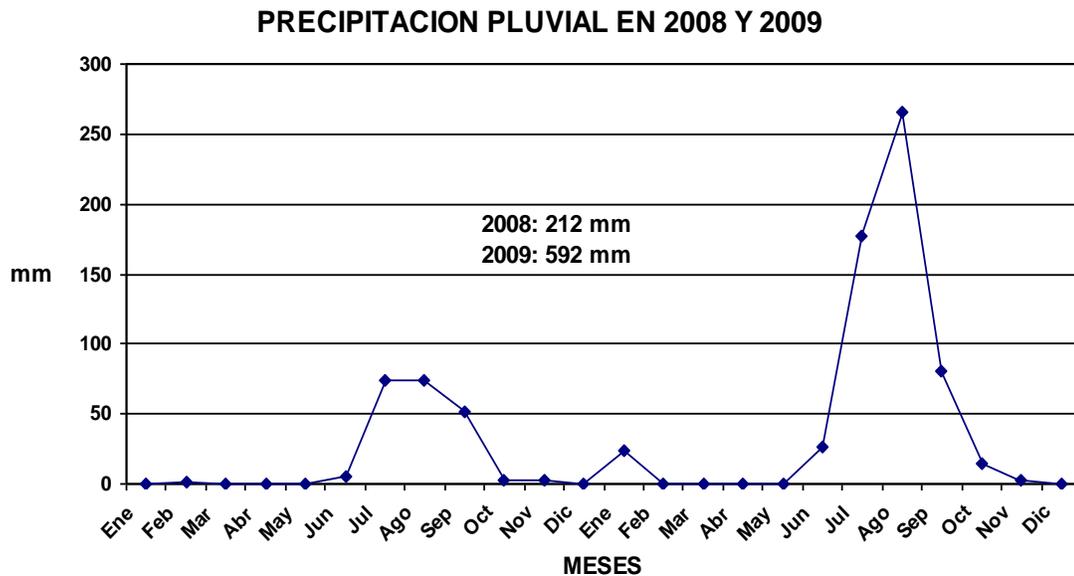
**Figura 3.** Captación del agua drenada para su aprovechamiento integral.

En la Figura 4 se observa que los puntos mas altos en ambos ciclos agrícolas ocurren durante la época de control de heladas tardías (abril y mayo), originado por los riegos nocturnos. Así mismo en la temporada de lluvias (junio-agosto) las cuales fueron mayores durante el 2009.



**Figura 4.** Volumen de agua drenada en la zona de estudio, 2007-08 y 2008-09.

En la figura 5 se observa la distribución de las lluvias en la zona de estudio durante los dos ciclos, observándose que hubo una mayor captación en el 2009.



**Figura 5.** Distribución de la precipitación pluvial durante el período de estudio.

El cuadro 4 muestra que la correlación entre las LR y el Drenaje es más alta en Macetas que en Rosario. Esto pone de manifiesto que donde los riegos no fueron programados hay mayor captación de agua por drenaje.

**Cuadro 4.** Coeficientes de regresión lineal de las variables LR y Drenaje en las Huertas Rosario y Macetas ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09.

HUERTA	VARIABLES LR / DRENAJE
MACETAS	0.70
ROSARIO	0.24

En el cuadro 5 se muestra La comparación entre la C.E y Drenaje en Rosario y Macetas observándose una alta correlación en el Rosario, lo que explica que los volúmenes de agua drenada en la zona radicular (0-90 cm) fue menor que en las

Macetas cuya correlación es alta en las profundidades de 0-30 y 30-60 cm, descendiendo significativamente en la profundidad de 60-90 cm, debido al mayor volumen de agua captada por el drenaje con NFU.

Al asociar la C.E y la humedad volumétrica (Hv) del suelo, se puede apreciar que en el Rosario hay una correlación medianamente alta a las tres profundidades. En las Macetas, la correlación es medianamente alta en las profundidades 0-30 y 30-60 cm, pero a la profundidad de 60-90 cm, las diferencias son significativas. Esto pone de manifiesto que la concentración de sales es menor en las profundidades de 60-90 debido a que el drenaje con NFU permite el lavado de las sales.

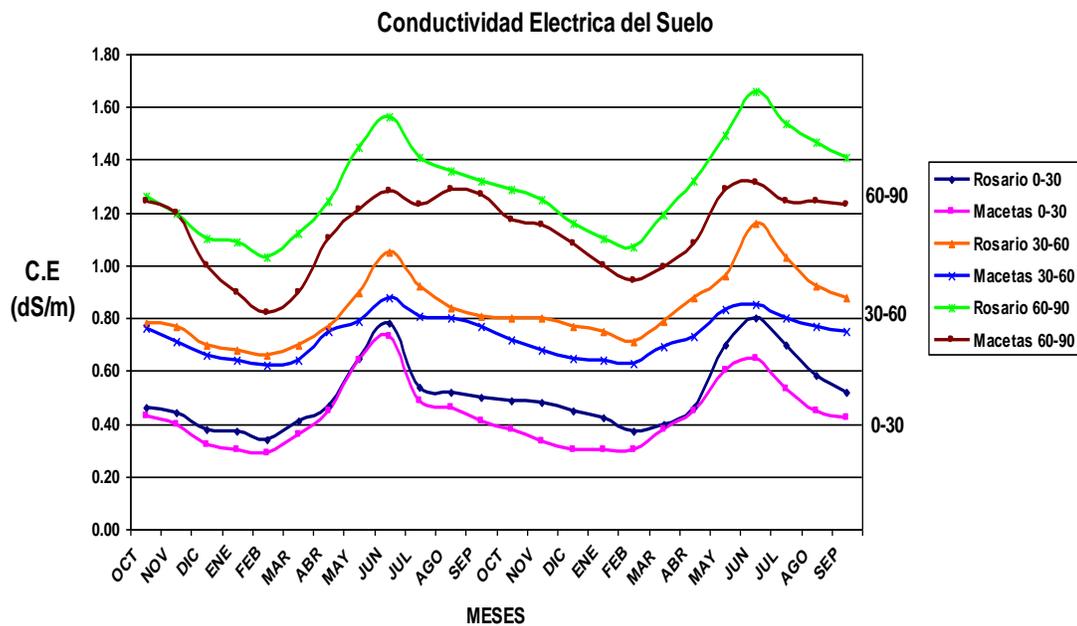
Así mismo, vinculando la C.E con las LR, se observa que en el Rosario, las LR ajustadas a las necesidades hídricas del cultivo mostraron una correlación medianamente baja con la concentración de sales a las tres profundidades. En las Macetas se observa que la correlación es alta en la profundidad 0-30 debido a las altas dosis de riego aplicadas, descendiendo significativamente conforme el agua es lixiviada y captada por el drenaje con NFU.

**Cuadro 5.** Comparación entre el Rosario (drenaje natural) y las Macetas (drenaje con NFU). Coeficientes de regresión lineal entre la concentración de sales (C.E) y su asociación con el Drenaje, Hv y LR durante los ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09.

VARIABLES	Conductividad Eléctrica (C.E)					
	ROSARIO			MACETAS		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
<b>Drenaje</b>	0.89	0.92	0.90	0.86	0.78	0.51
<b>Hv</b>	0.59	0.59	0.69	0.66	0.63	0.27
<b>LR</b>	0.44	0.33	0.35	0.72	0.52	0.25

En la figura 6 se muestra la variabilidad de la C.E en las profundidades 0-30, 30-60 y 60-90 cm entre Rosario y Macetas, observándose que en las Macetas al inicio y al final del estudio la concentración de sales fue muy similar en las tres. En el Rosario

hubo un incremento en las tres profundidades debido a las dosis de riego ajustadas que no permitió el lavado de dichas sales. Esto pone de manifiesto que el drenaje agrícola con NFU influye directamente sobre la concentración de sales en el suelo. Esto nos indica que es necesario tomar en consideración el incremento de las sales bajo una programación del riego, por lo que deben aplicarse riegos profundos en huertos manzaneros durante la época de dormancia (diciembre, enero y febrero), que permitan contrarrestar este efecto negativo.



**Figura 6.** Variación de la concentración de sales en las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, durante los ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09 en el Rosario y Macetas.

En el cuadro 6 se muestra la asociación entre la Hv con las LR y Drenaje, comparando el Rosario y Macetas. Se aprecia una correlación medianamente baja entre la Hv y la LR en el Rosario a las tres profundidades de la zona radicular, lo que nos indica que las LR aplicadas fueron ajustadas de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo. Así mismo, la correlación entre la Hv y Drenaje es medianamente alta a las tres profundidades descritas, lo que sugiere que el drenaje

natural fue menos eficiente que en las Macetas, donde las altas correlaciones de la Hv con las LR y Drenaje en las tres profundidades del suelo nos indican que las LR fueron excesivas pero el drenaje captó esos excesos eficientemente.

**Cuadro 6.** Coeficientes de regresión lineal entre la Hv y su asociación con las LR y Drenaje en el Rosario y Macetas durante los ciclos agrícolas 2007-08 y 2008-09.

VARIABLES	Humedad Volumétrica (Hv)					
	ROSARIO			MACETAS		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
LR	0.49	0.40	0.50	0.57	0.70	0.74
Drenaje	0.74	0.61	0.62	0.78	0.77	0.82

En la región de Cuauhtemoc, Chihuahua, se generan anualmente 45 mil NFU. Durante los 2 años que se ha llevado a cabo, la cantidad existente en tiraderos se ha abatido considerablemente.

## CONCLUSIONES

El sistema de drenaje con NFU captó el 13% del volumen total de agua aplicada por riego durante los ciclos 2007-08 y 2008-09 (1.1 Mm<sup>3</sup>), la cual fue rebombada para la irrigación generando un significativo impacto ambiental sobre el acuífero.

Los excesos de agua del suelo al ser evacuado por los drenes arrastraron nutrientes (nitratos) los cuales también fueron reincorporados a través del sistema de riego.

El drenaje con NFU disminuyó los riesgos de salinización ya que favoreció el lavado de las sales perjudiciales acumuladas en el suelo.

Se redujo la saturación del suelo lo que disminuyó los riesgos de aparición de plagas y enfermedades agrícolas asociadas a los excesos de agua.

El uso de NFU impacta positivamente sobre la calidad del aire y salud pública, ya que se evita que dichos neumáticos puedan ser utilizados indebidamente evitando emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera.

Anualmente se utiliza el 55 % de los neumáticos desechados.

Implementar este tipo de drenaje requiere técnicas constructivas muy sencillas, el material que se utiliza es de desecho y la inversión es baja.

El análisis realizado sobre drenaje agrícola con NFU nos indica que es una práctica que se debe de implementar.

#### **LITERATURA CITADA**

Abdel-Dayem, M.S. 1987. Development of land drainage in Egypt. In: Proc. Symp. 25th International Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). Publ. 42, ILRI, Wageningen, The Netherlands, pp. 195-204.

Abdel-Dayem, M.S., Ritzema, H.P., El-Atfy, H.E. and Amer, M.H. 1989. Pilot areas and drainage technology. In: Land Drainage in Egypt. M.H. Amer and N.A. de Ridder (eds.). DRI, Cairo, pp. 103-161.

Arauzo, M., J.A. Díez, P. Hernáiz, 2003. Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. En: Investigación de la Zona no Saturada, Vol. VI, ZNS'03 (J. Álvarez-Benedí y P. Marinero, eds). Instituto Técnico Agrario de Castilla León, Universidad Europea Miguel de Cervantes. Valladolid, p. 408.

Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 (Rev. 1). Rome.

- Cavelaars, J. 1974. Subsurface field drainage systems. In: Drainage Principles and Applications. Design and Management of Drainage Systems. Publ. 16, Vol. IV, ILRI, Wageningen, The Netherlands, pp. 1-65.
- Cavelaars, J.C., Vlotman, W.F. and Spoor, G. 1994. Subsurface drainage systems. In: Drainage Principles and Applications. H.P. Ritzema (ed.). Publ. 16, 2nd ed. (completely revised), ILRI, Wageningen, The Netherlands, pp. 827-929.
- Doorembos, J. y Pruitt W.O. 1974. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Roma, Italia.
- EPA. 2009. Environmental Protection Agency, USA. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- F.A.O. 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma, Italy.
- FAO. 1990. Guidelines for soil profile description. Soil Resources, Management and Conservation Service. Land and Water Development Division. 3rd ed. Rome.
- ITRA, 2009. Tire and Rubber Recycling Advisory Council, USA. [www.itra.com](http://www.itra.com)
- Madramootoo, C.A., Johnston, W.R. and Willardson, L.S. 1997. Management of agricultural drainage water quality. FAO Water Report 13, ICID/FAO, Rome.
- Martínez Beltrán, J. 1978. Drainage and reclamation of salt-affected soils. Publ. 24, ILRI, Wageningen, The Netherlands.
- Orozco-Corral, A.L. 2010. Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia. Aqua-LAC: UNESCO, Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe; 2, 1. p. 56-66. Montevideo, Uruguay.
- Smedema, L.K. and Rycroft, D.W. 1983. Land drainage: Planning and design of agricultural drainage systems. Batsford, London.
- Vogler, J. 1974. Standard recommended practice for inspection of pneumatic tires prior to retreading. ASTM Book of Standards, Volume 38, F393-74.