

IMPACTO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO POR APLICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Impact on Some Physical Soil Properties by Wastewater Application

Emilio Rascón Alvarado¹, Edmundo Peña Cervantes^{1‡}, Rubén López Cervantes¹,
Mario Cantú Sifuentes¹ y Eduardo Alberto Narro Farías¹

RESUMEN

Con el objetivo de determinar cambios en algunas propiedades físicas de un Calcisol de textura franco arcilloso se adicionaron tres clases de agua residual: de la laguna de almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (residual doméstica 1) (RUA), del arroyo municipal Saltillo- Ramos Arizpe, ejido El Mesón (RMP) y de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (residual doméstica 2) (REF) y de pozo profundo de la UAAAN (PUA). El riego fue por gravedad con lámina neta de 20 mm por riego, cada dos días, con cuatro frecuencias. En los estratos 0-0.30, 0.30-0.60 y 0.60-0.90 m del suelo se midió la densidad de sólidos (DS), densidad aparente (DA), porosidad (E), capacidad de campo (CC) y color del suelo (CS). Estas mediciones se realizaron en forma mensual, durante 10 meses. En la DS no hay cambios; en la DA sí, con incrementos desde 1.18 Mg m⁻³ a 1.28 Mg m⁻³ para los tratamientos donde se adicionó RUA. La E al inicio del trabajo fue de 47.20% con RMP y al final de 38.38%, con la misma agua. La CC fue de 24.89% al inicio y de 18.04% al final con el RUA. El estrato superficial se oscureció por las adiciones de RMP debido a la carga orgánica de ésta. Se concluye que RMP y RUA impactaron positivamente algunas propiedades físicas del suelo, excepto la DS, mientras que REF y PUA no mostraron efecto importante en este caso.

Palabras clave: aguas municipales, densidad aparente, densidad de sólidos, porosidad.

SUMMARY

To determine changes in some physical properties of a silty-clay Calcisol, three wastewater classes were

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, 25325 Saltillo, Coahuila, México.

[‡] Autor responsable (edmundo_49@hotmail.com)

added: from the storage lagoon of the UAAAN treatment plant (domestic wastewater 1) (RUA), from the Ramos Arizpe (RMP) stream running through the municipality of Saltillo, from the treatment plant of the School of Forestry (domestic wastewater 2) (REF); and UAAAN well water (PUA), as control. The land was irrigated by gravity with a net layer of 20 mm, every two days, with four frequencies. At the depths of 0-0.30, 0.30-0.60, and 0.60-0.90 m, solid density (DS), bulk density (DA), porosity (E), field capacity (CC), and soil color (CS) were measured monthly for 10 months. There were no changes in DS, but there were in DA with increases from 1.18 Mg m⁻³ to 1.28 Mg m⁻³ when RUA was added. Initial E was 47.20% with RMP and final E was 38.38% with the same wastewater. Initial CC was 24.89% and 18.04% at the end of the experiment, with the addition of RUA wastewater. The topsoil layer became darker with addition of RMP because of its organic content. RMP and RUA impacted some measured soil physical properties positively, except for DS; whereas REF and PUA had no important impact.

Index words: municipal wastewater, bulk density, solids density, porosity.

INTRODUCCIÓN

En estudios realizados por la Organización de Naciones Unidas (ONU) se hace un llamado de alarma sobre la situación de los recursos acuíferos del planeta, al subrayar que dos de cada tres habitantes están amenazados de padecer escasez de agua de aquí a 2025 (FAO, 2005). Esta escasez afecta a todos los continentes y más del 40% de la población mundial sufre ese problema. México no es la excepción y ya desde la década de los cincuenta se empezaba a crear conciencia en torno a las alteraciones ambientales provocadas por el rápido crecimiento económico. En este país, del volumen total de agua, superficial y subterráneo, que para el 2004 era de 75 km³ anuales, 76% se destinó a uso agropecuario, 14% a uso público y 10% a la industria (CNA, 2005).

Cabe señalar, que estos datos generales no revelan la situación real de muchas entidades, cuyo consumo supera con mucho su disponibilidad, la cual depende de la desigual distribución natural de las precipitaciones, los escurrimientos y los depósitos subterráneos, y en los estados del norte le corresponde sólo 4% del total de agua disponible. Lo anterior se refleja en las zonas áridas y semiáridas donde anualmente hay bajas en la producción agrícola por falta de precipitación, ya que gran parte del área destinada a esta actividad es de temporal (Qadir y Oster, 2004; FAO, 2005; Qadir *et al.*, 2007). Una de las alternativas para tratar de remediar en parte esta falta de agua es la de aprovechar para riego agrícola el agua residual generada, tanto por la población urbana, como por las industrias. Sin embargo, son pocos los estudios relacionados con la calidad sanitaria y productividad agrícola de tales recursos hídricos (Seoánez, 1999).

En México, es escasa la investigación sobre el aprovechamiento de los nutrimentos y la evaluación de la calidad sanitaria en ciertos cultivos, además en el cambio en propiedades físicas y químicas de suelo, debido al riego con aguas residuales (Pérez, 2002). Las investigaciones citadas se realizaron en la zona centro del país. En contraparte, no se encontró investigación referente a estos temas en el norte del país, a pesar de que la escasa precipitación (Mendoza, 1983) y la baja disponibilidad natural de agua (CNA, 2005) afectan negativamente la producción agrícola (Egide *et al.*, 2001). Por lo anterior, una opción para el mantenimiento de esta actividad en la región es regar con aguas residuales, por lo que el objetivo del presente trabajo fue estudiar el impacto, debido al uso de estas aguas contaminadas, en algunas propiedades físicas del suelo consideradas importantes desde el punto de vista agrícola en la región (Narro, 1994) y que pueden evolucionar a corto plazo por la adición de estos recursos hídricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el campus principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; a los 25° 21' N y 101° 01' O y una altitud de 1767 m, con temperatura media anual de 19.8 °C y precipitación media anual de 298.5 mm, con lluvias en verano (Mendoza, 1983).

La clase de agua residual empleada como tratamientos se obtuvieron de la laguna de

almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (residual doméstica 1) (RUA), del arroyo municipal Saltillo- Ramos Arizpe, ejido El Mesón (RMP) y de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (residual doméstica 2) (REF) y de pozo profundo de la UAAAN (PUA). Para cada clase de agua se realizaron tres muestreos y los análisis se efectuaron con base en la normatividad mexicana: para grasas y aceites (NMX-AA-005-SCFI-2000), coliformes totales y fecales (NMX-MX-AA-42-1987), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (NMX-AA-028-SCFI-2001a), sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables (NOM-AA-34-1980), conductividad eléctrica (NMX-AA-093-SCFI-2001b) y color platino-cobalto (NMX-AA-045-SCFI-2001c).

La superficie del experimento fue de 1200 m². Después de barbechar, rastrear y nivelar, y antes de iniciar la adición del agua, se muestreó el suelo en tres sitios representativos del área, en los estratos 0-0.30, 0.30-0.60 y 0.60-0.90 m. Las muestras, por estrato, se mezclaron y se les determinó las siguientes propiedades físicas: densidad de sólidos (DS) (método gravimétrico), densidad aparente (DA) (método de la probeta), porosidad (E) ($E = [1 - (DA / DS)] 100$), contenido de humedad a capacidad de campo (CC) [columnas de Coleman (Aguilar-Santelises, 1988)] y color del suelo (CS) (Munsell Color Chart, 1975). El suelo empleado en el trabajo fue un Calcisol (FAO-UNESCO, 1994), con 42% de arena, 27% de limo y 31% de arcilla [método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1963)], DA de 1.12 Mg m⁻³, E de 43.43%, CC de 29.80% y CS inicial 5YR7/1. En estos suelos el principal factor pedogenético es la calcimorfía presentada en regiones donde la evaporación es superior a la precipitación; se caracteriza por el depósito de aguas carbonatadas en partes bajas (López-Cervantes *et al.*, 2006).

En el campo, mediante un diseño de bloques al azar y en arreglo de parcelas divididas, se fraccionaron cuatro áreas de 300 m². Cada una de éstas se dividió en 16 parcelas de 1 m², separadas a 2 m entre sí, con cuatro frecuencias de riego: cada 2, 4, 6 y 8 días, con cuatro repeticiones cada una, y mensualmente se muestrearon dos de las repeticiones de cada tratamiento. La lámina neta de riego para cada clase de agua fue de 20 mm, en cada frecuencia.

El análisis estadístico se realizó con prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) mediante Minitab, Versión 14.2 (Minitab, 2005), en el cual

se comparó el efecto de las clases de agua sobre las características físicas del suelo en los diferentes estratos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El agua residual municipal (RMP) rebasa el límite de contenido de grasas y aceites de 15 mg L⁻¹, en 17.84%, esto se debe a que esta clase de agua proviene de los vertidos de la zona urbana Saltillo-Ramos Arizpe, Coahuila, con contaminación industrial y humana (NOM-001-ECOL-1996). Las restantes clases de agua residual por provenir de uso doméstico y el agua de pozo (PUA) no rebasaron el límite permisible (NMX-AA-005-SCFI-2000). En relación con la cantidad de coliformes fecales, todas las clases de agua residual presentaron valores superiores a los establecidos por la norma NOM-003-ECOL-1997 para agua de reuso público, incluida el agua de REF a pesar de los tratamientos físico, biológico y químico (Ashfaq *et al.*, 2003).

Los resultados para demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) mostraron que el límite permisible de 30 mg L⁻¹ fijado por NOM-003-ECOL-1997, para agua de reuso público indirecto fue rebasado en 32% por RUA, por REF en 24% y con 4333% por el agua RMP.

Los sólidos suspendidos totales presentes en todas las clases de agua se ubican por debajo del límite máximo permisible de 30 mg L⁻¹ (NOM-001-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997). El pH de todas las aguas empleadas está dentro del intervalo de 5 a 10 (NOM-001-ECOL-1996). Por la conductividad eléctrica (CE), en RUA, REF y PUA no hay restricciones para su uso en riego agrícola, mientras que RMP puede usarse sólo en suelos con buena permeabilidad (Cuadro 1).

En el análisis inicial, la textura de suelo fue franco arcilloso, la cual no cambió durante el periodo experimental; con color gris claro a gris, en seco y húmedo, respectivamente. Por tratarse de suelo de aluvión sólo se encontró material orgánico en el primer estrato en 1.92% y se encontró en los estratos

Cuadro 1. Límites máximos permisibles y contenidos promedio en clases de agua residual usadas.

Característica	Límites máximos permisibles							Resultados [#]		
	NOM-001-ECOL-1996		NOM-003-ECOL-1997			RUA	RMP		REF	PUA
	Vertido a suelo		Reuso público							
	Riego (PD [†])		Contacto (PM [‡])							
		Directo	Indirecto							
Grasas y aceites	mg L ⁻¹	25	15	15	7.51	30.43	4.93	< 2		
Colif. fec., NMP [§]	100 mL ⁻¹		240	1 x 10 ³	2.6 x 10 ³	1.1 x 10 ⁵	2.3 x 10 ⁴	< 3		
DBO ₅ [¶]	mg L ⁻¹		20	30	39.53	1.3 x 10 ³	37.05	10.3		
Sólidos tot.	mg L ⁻¹				0.91	2.48	0.67	0.48		
S. suspend.	mg L ⁻¹		20	30	0.05	0.13	0	0.01		
S. sediment.	mL L ⁻¹				< 0.10	0.9	0	0		
pH					8.3	7.89	7.24	7.66		
Cond. eléctrica	dS m ⁻¹				1.23	2.52	1	0.8		

[†]PD = promedio diario. [‡]PM = promedio mensual. [§]NMP = número más probable. [¶]DBO₅ = demanda bioquímica de oxígeno.

[#] RUA = agua residual de la laguna dealmacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (residual doméstica 1), RMP = del arroyo municipal Saltillo-Ramos Arizpe, ejido El Mesón, y REF = de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (residual doméstica 2), y PUA = de pozo profundo de la UAAAN.

Cuadro 2. Análisis físico de suelo previo a la adición de agua residual.

Estrato	Textura [†]				Color		Constantes de humedad [¶]			DS [#]	DA	E
	A	L	Ar	Ct	Seco	Húmedo	CC	PMP	HA			
	----- % -----				----- % -----			----- % -----				
0-0.30 m	42	27	31	Fa [‡]	5YR7/1 Gc [§]	5YR5/1 G	29.8	16.2	13.6	1.98	1.12	43.43
0.30-0.60 m	41	22	37	Fa	5YR7/1	5YR5/1	30.4	16.5	13.9	1.98	1.18	40.4
0.60-0.90 m	39	23	38	Fa	5YR7/1	5YR5/1	26.7	14.5	12.2	1.99	1.23	38.19

[†]A = arena, L = limo, Ar = arcilla, Ct = clase textural, [‡]Fa = franco arcilloso; [§]Gc = gris claro, G = gris. [¶]CC = capacidad de campo, PMP = punto de marchitez permanente, HA = humedad aprovechable; [#]DS = densidad de sólidos, DA = densidad aparente, E = porosidad.

0.30-0.60 m y 0.60-0.90 m una capa de material calcáreo característico de estos suelos (Cuadro 2).

En la DS no se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos. Esto se debe a que se trata de una propiedad que excluye el volumen que ocupa el espacio poroso que existe entre las partículas sólidas, y debe su valor a la presencia de los minerales presentes en este suelo los cuales no son modificados por la adición de las aguas residuales (Narro, 1994).

En cambio, para la DA, como se aprecia en el Cuadro 3, se detectaron cambios estadísticamente significativos, en particular en la interacción clase de agua-frecuencia de riego para la aplicación a cada seis días del agua RMP, en la cual se observa el valor más bajo de DA, lo cual se explica por la aportación de sólidos de baja densidad presentes en esta clase de agua (Cuadro 1). Esto concuerda con una evaluación del efecto del riego con agua de pozo y agua residual, efectuado por Robles (1996), quien encontró que la carga orgánica del agua residual provocó una disminución en los valores de la DA.

Por estratos, desde el superficial al más profundo, los valores iniciales de la DA eran de 1.12, 1.18 y 1.23 Mg m⁻³, al final del experimento cambiaron a 1.23, 1.26 y 1.27 Mg m⁻³, respectivamente. Este mayor incremento en DA en el estrato superficial es debido a que en los estratos inferiores, por lo general más compactos y con menos material orgánico, los cambios repercuten menos en esta característica del suelo (Egide *et al.*, 2001).

En cuanto a la porosidad, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre estratos. La aplicación de RUA aumentó a 42.87% el valor de porosidad para el estrato 0-0.30 m y superó en tres unidades a

los restantes estratos. También se muestra que al añadir RMP se alcanzó el valor más alto de 43.03% en el primer estrato en comparación con el estrato más profundo. Estos resultados se explican debido a la correlación positiva que guardan la DA y la E, de acuerdo con Iglesias *et al.* (2004), al reportar que se trata de un impacto a corto plazo en la generación de macroporos (Cuadro 4).

Para la retención de agua a capacidad de campo se encontraron, gracias al factor clase de agua, diferencias significativas entre RMP y PUA en los estratos 0-0.30 m y 0.30-0.60 m, y entre RUA y PUA en el estrato 0-0.30 m. Esto puede explicarse debido a que estas clases de agua residual tienen una elevada carga biológica (Cuadro 1), la que al ser retenida en el estrato superior produjo el aumento en la retención de humedad (Robles, 1996; Pérez, 2002). En particular, la RMP, debido a su gran volumen de carga biológica, alcanzó también a impactar esta variable hasta el estrato 0.30-0.60 m; además, indujo en forma consistente mayor capacidad de campo en todos los estratos (Figura 1).

Los colores de suelo en seco en el estrato 0-0.30 m conservaron la coloración gris inicial durante todo el experimento, a excepción del suelo donde se aplicó RMP, que al final cambió a coloraciones blanco grisáceo y gris rojizo. Este cambio en la coloración se debe a que tanto las grasas y aceites como la carga orgánica rebasan la norma.

Las aplicaciones de agua residual con valores altos de relación color aparente/verdadero (A/V); es decir, con altos contenidos de sólidos, produjeron tonos más oscuros en el suelo, en húmedo, como era de esperarse (Aguilar-Santelises, 1988). Para los estratos más profundos no se apreciaron cambios para esta variable, debido a que

Cuadro 3. Valores de densidad aparente (Mg m⁻³) en suelo agrícola con la adición de agua residual.

Tipos de agua [†]	Frecuencias de riego			
	1	2	3	4
RUA	1.24 bc	1.27 ab	1.27 ab	1.26.abc
RMP	1.24 abc	1.25 abc	1.22 c	1.23 bc
REF	1.25 abc	1.23 bc	1.25 abc	1.24 abc
PUA	1.28 a	1.25 abc	1.27 ab	1.26 abc

Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] RUA = agua residual de la laguna de almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (residual doméstica 1), RMP = del arroyo municipal Saltillo-Ramos Arizpe, ejido El Mesón, REF = de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (residual doméstica 2), y PUA = de pozo profundo de la UAAAN.

Cuadro 4. Valores de porosidad (E) en suelo agrícola al adicionar aguas residuales.

Tipos de agua [†]	Estratos		
	0-0.30 m	0.30-0.60 m	0.60-0.90 m
RUA	42.87 ab	39.72 cd	39.59 cd
RMP	43.03 a	41.66 abcd	39.34 d
REF	42.09 abc	41.52 abcd	40.80 bcd
PUA	41.34 abcd	40.47 abcd	40.28 bcd

Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] RUA = agua residual de la laguna de almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (residual doméstica 1), RMP = del arroyo municipal Saltillo-Ramos Arizpe, ejido El Mesón, REF = de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (residual doméstica 2), y PUA = de pozo profundo de la UAAAN.

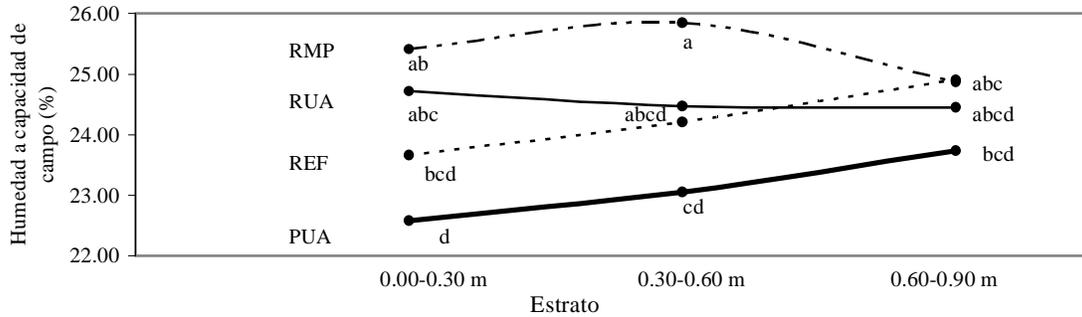


Figura 1. Humedad a capacidad de campo en suelo agrícola regado con aguas residuales.

RMP = del arroyo municipal Saltillo-Ramos Arizpe, ejido El Mesón, RUA = agua residual de la laguna de almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (residual doméstica 1), REF = de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (residual doméstica 2) y PUA = de pozo profundo de la UAAAN.

Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 5. Color de agua de riego y estrato 0.00-0.30 m de suelo agrícola regado con aguas residuales.

Factor	Tipo de agua [†]	Frecuencia riego	Trata- miento	Agua		Suelo [‡]			
				Aparente	Verdadero	Inicial		Final	
					Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	
		d							
RUA	1	1	215	40	5YR 7/1 Gc	5YR 5/1 G	10YR 7/2 Gc	10YR 5/2 Cg	
RUA	2	2	215	40	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/2 Gc	10YR 5/1 G	
RUA	3	3	215	40	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/2 Gc	10YR 5/2 Cg	
RUA	4	4	215	40	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR6/2 Gcc	10YR 4/1 Go	
RMP	1	5	107	37	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 8/2 B	10YR 6/2 Gcc	
RMP	2	6	107	37	5YR 7/1	5YR 5/1	7.5YR 8/2 Bg	7.5YR 6/2 Gr	
RMP	3	7	107	37	5YR 7/1	5YR 5/1	7.5YR.7/2 Gr	7.5YR 5/2 C	
RMP	4	8	107	37	5YR 7/1	5YR 5/1	7.5YR.8/2 Bg	7.5YR 6/2 Gr	
REF	1	9	17	17	5YR 7/1	5YR 5/1	5YR 7/2 Gr	5YR 5/2 Grj	
REF	2	10	17	17	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/2 Gc	10YR 5/2 Cg	
REF	3	11	17	17	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/2 Gc	10YR 5/2 Cg	
REF	4	12	17	17	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 6/1 G	10YR 4/1 Go	
PUA	1	13	2.5	2.5	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/2 Gc	10YR 5/2 Cg	
PUA	2	14	2.5	2.5	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/1 Gc	10YR 5/1 G	
PUA	3	15	2.5	2.5	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/2 Gc	10YR 5/2 Cg	
PUA	4	16	2.5	2.5	5YR 7/1	5YR 5/1	10YR 7/1 Gc	10YR 5/1 G	

[†] RUA = agua residual de la laguna de almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (residual doméstica 1), RMP = del arroyo municipal Saltillo - Ramos Arizpe, ejido El Mesón, REF = de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (residual doméstica 2) y PUA = de pozo profundo de la UAAAN.

[‡] Gc = gris claro, G = gris, Cg = café grisáceo, Gcc = gris café claro, Go = gris oscuro, B = blanco, Bg = blanco grisáceo, Gr = gris rosáceo, C = café, Grj = gris rojizo.

el estrato superficial del suelo retuvo los materiales causantes de este efecto (Cuadro 5).

CONCLUSIONES

Las aguas residual municipal (RMP) y residual doméstica de la laguna de almacenamiento de la planta de tratamiento de la UAAAN (RUA) impactaron de forma positiva las propiedades físicas evaluadas en

el estrato superior del suelo, a excepción de la densidad de sólidos. El agua residual doméstica de la planta de tratamiento de la Escuela Forestal (REF) y agua de pozo profundo de la UAAAN (PUA) no tuvieron un efecto tan evidente como las primeras. Se recomienda el empleo de estas aguas para el riego de suelos después del tratamiento respectivo para alcanzar valores que estén dentro de las Normas Oficiales Mexicanas.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Santelises, A. 1988. Métodos de análisis de suelos. Edición preliminar. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México.
- Ashfaq, M., I. Hussain, W. A. Jehangir, and M. Mudasser. 2003. Use of wastewater for irrigation: impacts on human health and environment. *The Environ Monitor.* 3: 5-7.
- Bouyoucos, G. J. 1963. Direction for making mechanical analysis of soil by hydrometer methods. *Soil Sci.* 42: 25-30.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2005. Estadísticas del agua en México. CNA. México, D. F.
- Egide, L. N., G. W. Petersen, M. L. Himhoff, H. R. Sinclair Jr., S. W. Waltman, D. S. Reed-Margentan, E. R. Levine, and J. M. Russo. 2001. Assessing the impact of land conversion to urban use on soils with different productivity levels in the USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 391-402.
- FAO (Food and Agricultural Organization). 2005. Aquastat information system on water and agriculture. Food and Agricultural Organization. Rome, Italy. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGL/aglw/aquastat/main/index.stm>. (Consulta: abril 23, 2005).
- FAO/UNESCO (Food and Agriculture Organization). 1994. World reference base for soils resources. FAO. Rome, Italy.
- Iglesias, J., J. Galantini, S. Venanzi, A. Rausch, M. Barreiro, A. Albin, H. Kruger y M. Ripio. 2004. Sistemas de labranza: 3. Distribución del espacio poroso. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. Bordenave, Argentina.
- López-Cervantes, R., A. Gallegos-del Tejo, E. Peña-Cervantes, A. Reyes-López, R. Castro-Franco y J. F. J. Chávez-González. 2006. Sustancias húmicas de origen diverso en algunas propiedades físicas de un suelo franco-arcillo-limoso. *Terra Latinoamericana* 24: 303-309.
- Mendoza H., J. M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. *Boletín Agrometeorológico*. Saltillo, Coahuila, México.
- Minitab. 2005. Minitab release 14.2. Statistical software. <http://www.minitab.com>. (Consulta: mayo 20, 2004).
- Munsell Color Chart. 1975. Munsell Soil Color Charts. Macbeth Division, Kollmorgen Corporation. Baltimore, MD, USA.
- Narro F., E. A. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Trillas. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-34-1980. 1980. Análisis de agua. Determinación de sólidos. MA-FQ-29 Método gravimétrico y MA-FQ-30 Método volumétrico (Sólidos sedimentables). *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NMX-MX-AA-42-1987. 1987. Calidad de agua. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerante) y *Escherichia coli* presuntiva. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. 1997. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en agua y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. 1998. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000. 2000. Aguas. Determinación de grasas y aceites. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001. 2001a. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2001. 2001b. Análisis de agua. Determinación de conductividad electrolítica. Método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-045-SCFI-2001. 2001c. Análisis de agua. Determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.
- Pérez Z., O. 2002. Efecto de la aplicación de aguas residuales industriales en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* 36: 279-290.
- Qadir, M. and J. D. Oster. 2004. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Sci. Total Environ.* 323: 1-19.
- Qadir, M., R. Sharma, A. Bruggeman, R. Choukr-Allah, and F. Karajeh. 2007. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agric. Water Manage.* 87: 2-22.
- Robles, C. 1996. Irrigación con aguas residuales domésticas. Efectos sobre suelo y plantas. Centro Interdisciplinario de Investigaciones para el Desarrollo Integral Regional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.
- Seoáñez C., M. 1999. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2a ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.