

Acumulación de metales pesados en alfalfa regada con agua residual de la industria textil

Accumulation of heavy metals in irrigated alfalfa with wastewater from the textile industry

Cristina Yhoselin García-González¹ ,
Alejandro Moreno-Reséndez^{1,3*} ,
Uriel Figueroa-Viramontes²,
José Luis Reyes-Carrillo^{1,3} 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez s/n, Colonia Valle Verde. CP. 27054. Torreón, Coahuila, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Laguna, Boulevard José Santos Valdez No. 1200, Centro. CP. 27440. Matamoros, Coahuila, México.

³Integrante del Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria (CASISUPA), Clave: UAAAN-CA-14.

* Autor de correspondencia:
alejamosa@yahoo.com.mx
alejamosa@hotmail.com

Nota científica

Recibido: 27 de septiembre de 2019
Aceptado: 30 de junio de 2020

Como citar: García-González CY, Moreno-Reséndez A, Figueroa-Viramontes U, Reyes-Carrillo JL (2020) Acumulación de metales pesados en alfalfa regada con agua residual de la industria textil. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(2): e2437. DOI: 10.19136/era.a7n2.2437

RESUMEN. El efluente textil tratado (ETT) tiene uso potencial como agua de riego. El objetivo fue evaluar el efecto de un ETT sobre la acumulación de metales pesados en alfalfa. Se utilizó ETT diluido en agua destilada, a diferentes concentraciones. Como testigos se empleó agua destilada y agua de pozo de uso agrícola. Se evaluó la germinación y acumulación de Cd^{2+} , Pb^{2+} y Ni^{2+} en planta y suelo, en un diseño completamente al azar. Se encontró que el ETT sin diluir no mostró inhibición en la germinación. En relación con la absorción de metales pesados, el ETT no generó acumulación en el tejido vegetal ni en el suelo en relación al testigo. Se puede considerar este tipo de efluente una alternativa para el uso de riego del cultivo de alfalfa.

Palabras clave: Crecimiento foliar, *Medicago sativa*, efluentes residuales.

ABSTRACT. Treated Textile Effluent (TTE) has potential use as irrigation water. The objective was to evaluate the effect of a TTE on the accumulation of heavy metals in alfalfa. TTE diluted in distilled water was used in different concentrations. Distilled water and well water for agricultural use, were used as controls. Germination and accumulation of Cd^{2+} , Pb^{2+} and Ni^{2+} in plant and soil were evaluated in a completely randomized design. It was found that the undiluted TTE showed no inhibition on germination. Regarding the absorption of heavy metals, the TTE did not generate accumulation in the plant tissue or in the soil in relation to the control one. This type of effluent can be considered an alternative for the use of irrigation of the alfalfa crop.

Key words: Foliar growth, *Medicago sativa*, residual effluents.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es la actividad de mayor consumo de agua con $63\,600 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$, que representa el 76.3% del volumen total extraído en México (CONAGUA 2017). De manera específica la Comarca Lagunera ocupa el primer lugar nacional en producción de forrajes con 123 642.57 ha, que corresponde al 48% de la superficie total sembrada (SIAP 2018). La alfalfa es la leguminosa forrajera más importante y cultivada en el mundo (Yan-Jie *et al.* 2018). Pero, dada la ubicación de esta región, con escasez de agua, es complicado su desarrollo (González-Barrios *et al.* 2013).

Debido a lo anterior, el uso de fuentes de agua no convencionales para el riego de cultivos en zonas áridas, es una práctica que aumenta día a día (Chopra y Pathak 2015). En este sentido, una fuente potencial para aminorar la escasez de este recurso, es el agua residual tratada proveniente de la industria textil que, debido a la naturaleza de sus operaciones, consumen hasta $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (Karci 2014). Se estima que el consumo por día de agua de una empresa textil, con 8 t de tela, es de $1.6 \times 10^6 \text{ L}$ (Kant 2012) lo que genera grandes volúmenes de aguas residuales (Mahawar y Akhtar 2016). Por estas condiciones, los agricultores en las cercanías de estas industrias consideran que estos efluentes pueden ser una fuente rentable de agua de riego (Pokhriya *et al.* 2017). En apoyo a lo anterior, Younas *et al.* (2020) determinaron que el riego con aguas residuales textiles tratadas mezcladas con aguas residuales domésticas 1:1 (v:v) mejoró la productividad y disminuyó la concentración de metales pesados del *Zea mays* L. La selección de la alfalfa como modelo biológico se debe a que es el principal forraje para alimentar ganado (Khan *et al.* 2016) y por ser una especie con potencial para fitoextraer de metales pesados (Tabasi *et al.* 2017) puede formar parte de la cadena alimentaria y causar toxicidad en animales y humanos (Coyago y Bonilla 2016). Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de agua residual textil tratada sobre la germinación, crecimiento y acumulación de metales pesados en alfalfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), $24^\circ 22' \text{ LN}$ y $102^\circ 22' \text{ LO}$, a 1 120 msnm. De enero a abril del 2018. En la región se registra una precipitación promedio de $235 \text{ mm} \cdot \text{año}^{-1}$ y temperatura media anual de 18.6° C (Schmidt 1989).

Para la obtención de las muestras del agua residual de la Industria Textil (ARTIT) y del pozo agrícola (APA) se aplicó la norma NMX-AA-051-SFCI-2001 (SE 2001). La planta tratadora de agua residual se localiza en la zona industrial del municipio de Torreón, Coahuila y el pozo de riego, número 950, en el Ejido La Rosita, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila. La selección del pozo se realizó en atención a las concentraciones reportadas por Azpilcueta-Pérez *et al.* (2017) de 0.042 y $0.276 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de Cd y Pb. El suelo (Franco-arcilloso) se obtuvo del campo experimental INIFAP Matamoros, Coahuila. Se determinó el contenido de Cd^{2+} , Ni^{2+} y Pb^{2+} en las muestras de suelo (0.11 , 0.10 y $0.00 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ respectivamente), del ARTIT (0.001 , 0.04 y $<0.001 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y del APA (0.07 , 0.45 , $2.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) por medio de absorción atómica.

Índice de germinación

Se colocaron 10 semillas de alfalfa *cvf 101* en cajas Petri, con papel filtro Watman[®] No. 40 (Rekik *et al.* 2016), después de desinfectarlas en formaldehído al 3% (Aydinalp y Marinova 2009). Cada tratamiento se replicó cinco veces y se empleó un diseño completamente al azar (Emino y Warman 2004). Para su germinación se aplicaron 10 mL de cada uno de los tratamientos (T) evaluados: tratamiento testigo agua destilada (TTAD); Tratamiento con agua de pozo agrícola (TAPA), estos dos primeros tratamientos no se diluyeron; T1 = 1:3 (ARTIT:AD, v:v); T2 = 1:1 (ARTIT:AD, v:v); T3 = 3:1 (ARTIT:AD, v:v); y T4 = 1:0 (ARTIT:AD, v:v), las diluciones se realizaron en función de los resultados de Nath *et al.* (2007) y Wins y Murugan (2010). Las cajas Petri se colocaron en incubadora (Seedburo Equipment[®]) a 20° C , por

14 días (Emino y Warman 2004). Al concluir este periodo se registró la longitud de la raíz de las plántulas de cada tratamiento y el número de semillas germinadas (Rehman *et al.* 2009) para evaluar la germinación relativa de semillas (GRS), el crecimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG) de las plántulas de *M. sativa* de acuerdo con Hoekstra *et al.* (2002), empleando las siguientes formulas:

$$GRS(\%) = \frac{\text{Número de semillas germinadas con la muestra de agua problema}}{\text{Número de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$CRR(\%) = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula con la muestra de agua problema}}{\text{Longitud promedio de la radícula en el testigo}} \times 100$$

$$IG(\%) = \frac{GRS \times CRR}{100} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Desarrollo del cultivo de alfalfa

Éste se realizó en el Jardín Botánico de la UAAAN-UL, para promover su desarrollo a temperatura ambiente (He *et al.* 2018). Se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 10 kg, rellenas con suelo franco-arcilloso, sembrándose 10 semillas de *M. sativa*, variedad *cuf 101* por maceta. Como riego se aplicaron 250 mL·maceta⁻¹·día⁻¹ (Hassan *et al.* 2013) de cada tratamiento, con cinco repeticiones, distribuidas en un diseño completamente al azar.

Cosecha y registro de variables en planta

La cosecha de la planta completa se realizó cuando las plantas tenían el 10% de floración, para obtener el máximo rendimiento de materia seca (Marino y Echeverría 2018). Para lo cual las plantas se separaron el área foliar y raíz (García-Gallegos *et al.* 2011).

Muestreo de tejido vegetal y de suelo

Al concluir la cosecha se obtuvieron muestras de follaje y raíz, por tratamiento y repetición, las cuales se colocaron en bolsas de papel de estraza etiquetadas, y trasladaron al Laboratorio de Suelos, donde se colocaron en estufa FELISA[®] de aire forzado, a 75 °C por 72 h, para luego molerlas, hasta grado talco con molino Wiley-mini[®]. De cada maceta se recuperó 1 kg de suelo, que se secó a

temperatura ambiente por 24 h, para luego tamizar en malla No. 25 (Lara-Viveros *et al.* 2015) y depositar en bolsas de plástico, hasta los análisis químicos.

Análisis químicos

De acuerdo al método de Landero-Figueroa *et al.* (2007), modificado por Lara-Viveros *et al.* (2015), de cada muestra de follaje, raíz y suelo, se pesó 1 g, en una balanza analítica AND Modelo HR-200[®], los cuales se digirieron en HNO₃, al 96%, en digestor Ethos One[®], para luego en los extractos determinar la concentración de Cd²⁺, Pb²⁺ y Ni²⁺, mediante absorción atómica (Perkin Elmer 2380[®]).

Análisis estadísticos

Los datos registrados del desarrollo del cultivo y las concentraciones de metales en follaje, raíz y suelo, se sometieron a análisis de varianza, en el programa Infostat, para las diferencias entre medias se aplicó la prueba LSD₀₅-Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación y crecimiento relativos de semilla y radícula e índice de germinación de alfalfa

La GRS registró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, resultando estadísticamente iguales los tratamientos TAPA, T1 y T3, con valores que oscilaron entre 94 y 96 de GRS, mismos que superaron en al menos 8.5% a la GRS de los tratamientos T2 y T4 (Tabla 1). Resultados que coinciden con lo reportado por Parameswari (2014) ya que el tratamiento control, y el tratamiento con dilución 1:3 presentaron el mayor porcentaje de germinación, y ningún tratamiento al igual que en el presente estudio, presentó fitotoxicidad.

La CRR tuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, presentando los tratamientos T1, T2 y T3, diluidos con AD, y el tratamiento T4, sin dilución, valores que oscilan entre 98.22 y 111.74%, los cuales superan ampliamente al tratamiento TAPA, que tuvo una CRR de 81.93% (Tabla 1). Resultados que difieren de lo reportado por Abubacker y Kirthiga (2017) quienes determinaron

que la germinación de las semillas y en consecuencia el crecimiento radicular, se ve afectado cuando los efluentes textiles son utilizados como agua de riego, y se aplican sin tratamiento, mientras que cuando reciben tratamiento fisicoquímico o biológico, se observan respuestas positivas.

Tabla 1. Evaluación de las respuestas biológicas de las plántulas de *Medicago sativa*.

Tratamiento	GRS (%)	CRR (%)	IG (%)
Testigo (T00)	94 ± 2.45 ^a	81.93 ± 3.45 ^b	77.01 ± 2.52 ^b
T1	96 ± 2.45 ^a	107.81 ± 6.72 ^a	103.50 ± 7.83 ^a
T2	86 ± 2.45 ^b	101.27 ± 3.87 ^a	87.09 ± 5.36 ^{ab}
T3	96 ± 2.45 ^a	98.22 ± 6.41 ^a	94.30 ± 7.70 ^{ab}
T4	86 ± 2.45 ^b	111.74 ± 4.61 ^a	96.10 ± 6.02 ^a

Valores promedio ± EE de GRS = porcentaje de germinación relativa, CRR = crecimiento relativo de la radícula, IG = índice de germinación. Las medias con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. Prueba de LSD-Fisher ($p \leq 0.05$).

El IG muestra interacción de los factores, lo que puede favorecer o limitar la germinación, así como promover o inhibir el desarrollo de la radícula. Para el IG la comparación de medias detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Conformando los tratamientos T1 y T4 el primer grupo estadístico con valores de 103.5 y 96.10%, mientras que el segundo grupo lo integraron los tratamientos T2 y T3, con 87.10 y 94.20%, en tanto que el tratamiento TAPA tuvo un IG del 77.02% (Tabla 1). En general y según la clasificación de la toxicidad de Emino y Warman (2004) ningún tratamiento evaluado inhibió la germinación de las semillas de *M. sativa*. Además de que los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Ramya *et al.* (2017) quienes determinaron que el uso de agua residual textil tratada al 100%, fue superior a las diluciones en semillas de cacahuate (*Arachys hypogaea* L.). De la misma manera Rehman *et al.* (2009), determinaron que el tratamiento al 100% de agua residual tratada, aumentó el porcentaje de germinación en comparación con el testigo en semillas de mostaza. Lo que indica que el IG de las semillas, se inhibe al aumentar la concentración del efluente textil tratado. Al respecto Hassan *et al.* (2013), reportan mayor IG en tratamientos con este tipo de efluentes con respecto al control.

El menor valor de IG (77.02%) en el tratamiento TAPA, se puede deber a su elevada con-

centración de Pb^{2+} en el APA, lo cual coincide con Lyu *et al.* (2018) quienes reportan que la germinación de semillas y el desarrollo de raíz en lechuga son inhibidos por la alta concentración de metales pesados. En el mismo sentido, Yahagh *et al.* (2019) reportaron que la germinación de las semillas de alfalfa disminuye de forma significativa al aumentar la concentración de Pb^{2+} , y consideraron que esto se puede deber a que estos iones interfieren con las enzimas de las semillas asociadas con la hidrólisis, la movilidad de proteínas y carbohidratos necesarios para el desarrollo y el metabolismo de los embriones.

Concentración de metales pesados

No se registró diferencia significativa en las concentraciones de Cd^{2+} , por efecto de los tratamientos evaluados, en ninguno de los componentes evaluados: follaje, raíz y suelo, durante el desarrollo de la alfalfa (Tabla 2). De manera similar, Dhaouefi *et al.* (2018) registraron ausencia de diferencia estadística, respecto a la concentración de este metal, en muestras de suelo y follaje, durante del cultivo de rábano, al que se le aplicó agua residual textil no tratada y agua potable. Específicamente, en el caso de las partes vegetativas, las concentraciones de Cd^{2+} determinadas fueron inferiores a los valores reportados por Singh *et al.* (2009), de 5 a $50 \mu g \cdot mL^{-1}$, quienes establecieron que el cultivo de alfalfa se ve afectado cuando se utiliza como riego, efluentes que presenten este rango de concentración, lo que no fue detectado en el presente estudio. La reducida concentración de Cd^{2+} en follaje, raíz y suelo, en se puede deber al factor tiempo, ya que se ha demostrado que después de 20 años de aplicar riegos con aguas residuales este metal se tienen concentraciones bajas en el suelo (Singh *et al.* 2010).

Para el Ni^{2+} , no se tuvo diferencias significativas en follaje, ni raíz (Tabla 2). Lo que puede atribuirse a la facilidad de acumulación de este metal en el suelo (Abunada y Nassar 2014) y por lo tanto en diferentes partes del cultivo (Pokhriya *et al.* 2017). Esta característica también depende de la capacidad radicular de absorción de elementos del cultivo (Zheng *et al.* 2007). Las mayores concentraciones de Ni^{2+} en el suelo se observaron en los tratamientos

Tabla 2. Concentración promedio de cadmio (Cd^{2+}), níquel (Ni^{2+}) y plomo (Pb^{2+}) en follaje, raíz de alfalfa y en el suelo regada con agua residual tratada de la industria textil.

Componente	Tratamiento	Cd^{2+}	Ni^{2+} ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Pb^{2+}
Follaje	TTAD	0.02 ± 0.01^a	0.06 ± 0.03^a	0.34 ± 0.06^a
	TAPA	0.06 ± 0.02^a	0.12 ± 0.04^a	0.50 ± 0.05^a
	T1	0.03 ± 0.01^a	0.05 ± 0.02^a	0.23 ± 0.11^a
	T2	0.04 ± 0.02^a	0.11 ± 0.03^a	0.49 ± 0.09^a
	T3	0.04 ± 0.01^a	0.06 ± 0.01^a	0.35 ± 0.08^a
Raíz	TTAD	0.05 ± 0.01^a	0.08 ± 0.02^b	0.24 ± 0.10^a
	TAPA	0.09 ± 0.01^a	0.16 ± 0.04^a	0.50 ± 0.14^a
	T1	0.04 ± 0.02^a	0.05 ± 0.02^b	0.37 ± 0.10^a
	T2	0.05 ± 0.01^a	0.03 ± 0.01^b	0.26 ± 0.05^a
	T3	0.06 ± 0.02^a	0.07 ± 0.03^b	0.36 ± 0.06^a
Suelo	TTAD	0.01 ± 0.01^a	0.06 ± 0.03^b	0.25 ± 0.05^b
	TAPA	0.02 ± 0.01^a	0.13 ± 0.05^{ab}	0.53 ± 0.04^a
	T1	0.01 ± 0.01^a	0.21 ± 0.04^a	0.24 ± 0.04^b
	T2	0.02 ± 0.01^a	0.10 ± 0.02^b	0.48 ± 0.14^a
	T3	0.02 ± 0.01^a	0.07 ± 0.02^b	0.21 ± 0.08^b
	T4	0.03 ± 0.01^a	0.09 ± 0.02^b	0.24 ± 0.04^b

Concentraciones promedio \pm EE. AD = Agua Destilada; ARTIT = Agua Residual Tratada de la Industria Textil; TTAD = Tratamiento Testigo con Agua Destilada; TAPA = Tratamiento con Agua de Pozo Agrícola; T1 = 1:3 (ARTIT:AD, v:v); T2 = 1:1 (ARTIT:AD, v:v); T3 = 3:1 (ARTIT:AD, v:v); y T4 = 1:0 (ARTIT:AD, v:v), Las medias con las mismas letras dentro de una misma columna para cada órgano vegetativo y suelo, son estadísticamente iguales. Prueba de LSD-Fisher ($p \leq 0.05$).

TAPA y T1, esto es un resultado inesperado aunque puede deberse a la disponibilidad de los metales e interacciones entre los diversos parámetros físico-químicos del mismo suelo (Bose y Bhattacharyya 2008). Los resultados indican que se puede utilizar ARTIT, con y sin diluciones, para cultivar alfalfa, ya que el Ni^{2+} no rebasa los límites permitidos en el suelo; y además sus concentraciones en la raíz, tuvieron concentraciones menores a la que se tuvo con el tratamiento TAPA.

Para el Pb^{2+} no se encontraron diferencias significativas en la acumulación del follaje y raíz (Tabla 2). Lo que puede estar relacionado con la capacidad de unión de los metales pesados con las raíces (Tóth *et al.* 2009), ya que los metales se bioacumulan más en esta área que en el brote (Al-Rashdi y Sulaiman 2013). También puede haberse debido a que la absorción y acumulación de metales pesados en los tejidos de las plantas depende de factores como la temperatura, humedad, materia orgánica, pH y disponibilidad de nutrientes (Rupa *et al.* 2003). Estos resultados también coinciden con lo reportado por Chaoua

et al. (2018) quienes reportan que la acumulación de Pb^{2+} en el follaje y la raíz de la alfalfa fueron estadísticamente iguales, cuando se aplicaron riegos con agua residual. En el suelo la mayor concentración de Pb^{2+} la tuvieron los tratamientos TAPA y T2, lo que se puede deber a la mayor concentración de Pb^{2+} en el agua de pozo. Con respecto al ARTIT, con y sin diluciones ($< 0.001 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), la concentración de Pb^{2+} en el suelo fue similar a la encontrada en el tallo y raíz, lo que se puede deber a que la absorción por las raíces no tuvo impacto (Lara-Viveros *et al.* 2015). Aunque el tratamiento T2 tuvo la mayor concentración de Pb^{2+} en este estudio, es posible recomendar la aplicación del ARTIT, con y sin diluciones, para riego de alfalfa, ya que los niveles de este metal fueron bajos.

El efluente textil tratado, con y sin diluciones con agua destilada, es una alternativa para el riego de alfalfa, debido a que no afecta la germinación, además de que no contribuye a la acumulación de metales pesados en las partes vegetativas del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto, con clave: 38-111-4256001002-

2787, fue financiado por la Universidad Autónoma Agraria Antonio.

LITERATURA CITADA

- Abubacker MN, Kirthiga B (2017) Long term impact of irrigation with textile waste water and an ecofriendly approach for heavy metal degradation. In: Prashanthi M, Sundaram R, Jeyaseelan A, Kaliannan T (eds) Bioremediation and sustainable technologies for cleaner environment. Environmental Science and Engineering. Springer. Cham, Germany. pp: 133-161.
- Abunada Z, Nassar A (2014) Impacts of wastewater irrigation on soil and alfalfa crop: Case study from Gaza Strip. *Environmental Progress and Sustainable Energy* 34: 1-7.
- Al-Rashdi TT, Sulaiman H (2013) Bioconcentration of heavy metals in alfalfa (*Medicago sativa*) from farm soils around sohar industrial area in Oman. *Asia-Pacific Chemical, Biological & Environmental Engineering Society* 5: 271-278.
- Aydinalp C, Marinova S (2009) The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*). *Journal of Agricultural Science* 15: 347-350.
- Azpilcueta-Pérez M, Pedroza-Sandoval A, Sánchez-Cohen I, Salcedo-Jacobo MR, Trejo-Calzada R (2017) Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33: 75-83.
- Bose S, Bhattacharyya AK (2008) Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge. *Chemosphere* 70: 1264-1272.
- Chaoua S, Boussaa S, Gharmali A, Boumezzough A (2018) Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18: 429-436.
- Chopra AK, Pathak C (2015) Accumulation of heavy metals in the vegetables grown in wastewater irrigated areas of Dehradun, India with reference to human health. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 1-8.
- CONAGUA (2017) Usos del agua en México. Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>. Fecha de consulta: 31 de mayo de 2018.
- Coyago E, Bonilla S (2016) Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja* 23: 35-46.
- Dhaouefi Z, Toledo-Cervantes A, Garcia D, Bedoui A, Ghedira K, Chekir-Ghedira L, Muñoz R (2018) Assessing textile wastewater treatment in an anoxic-aerobic photobioreactor and the potential of the treated water for irrigation. *Algal Research* 29: 170-178.
- Emino ER, Warman PR (2004) Biological assay for compost quality. *Compost Science Utilization* 12: 342-348.
- García-Gallegos E, Hernández-Acosta E, García-Nieto E, Acevedo-Sandoval O (2011) Contenido y translocación de plomo en avena (*Avena sativa*, L.) y haba (*Vicia faba*, L.) de un suelo contaminado. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 19-29.
- González-Barrios JL, Villa-Castorena M, Catalán-Valencia EA, González-Cervantes G, Inzunza-Ibarra MA (2013) Geografía de la calidad del agua subterránea para riego en la Comarca Lagunera: conductividad eléctrica. *AGROFAZ* 13: 119-124.

- Hassan J, Kamal MZU, Alam MZ (2013) Impact of textile dyeing effluents on germination and seedling stage of country bean (*Lablab niger* var. *Typicus*). *International Journal of Earth Sciences* 1: 1-9.
- He H, Dong Z, Pang J, Wu G, Zheng J, Zhang X (2018) Phytoextraction of rhenium by lucerne (*Medicago sativa*) and erect milkvetch (*Astragalus adsurgens*) from alkaline soils amended with coal fly ash. *Science of the Total Environment* 630: 570-577.
- Hoekstra NT, Bosker T, Lantinga EA (2002) Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93: 189-196.
- Kant R (2012) Textile dyeing industry an environmental Hazard. *Natural Science* 4: 22-26.
- Karci A (2014) Degradation of chlorophenols and alkylphenol ethoxylates, two representative textile chemicals, in water by advanced oxidation processes: The state of the art on transformation products and toxicity. *Chemosphere* 99: 1-18.
- Khan MJ, Khan NU, Khan F, Afzal M, Jan T (2016) Effect of amendments on bioavailability of heavy metals to alfalfa and biomass yield irrigated with wastewater. *Journal of Environmental Engineering* 142: 1-8.
- Landero-Figueroa JA, Wrobel K, Afton S, Caruso JA, Gutierrez-Corona JF, Wrobel K (2007) Effect of some heavy metals and soil humic substances on the phytochelatin production in wild plants from silver mine areas of Guanajuato, México. *Chemosphere* 70: 2084-2091.
- Lara-Viveros FM, Ventura-Meza A, Ehsan M, Rodríguez-Ortega A, Vargas-Montiel J, Landero-Valenzuela N (2015) Contenido de Cd y Pb en suelo y plantas de cultivos irrigados con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 31: 127-132.
- Lyu J, Park J, Pandey L, Choi S, Lee H, De Saeger J, Depuydt S, Han T (2018) Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 149: 225-232.
- Mahawar P, Akhtar A (2016) Impact of dye effluent on growth and chlorophyll content of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Annals of Plant Sciences* 5: 1432-1435.
- Marino MA, Echeverría HE (2018) Diagnóstico de requerimiento de fósforo para alfalfa (*Medicago sativa* L.) en argiudoles. *Agriscientia* 35: 11-24.
- Nath K, Singh D, Sharma Y (2007) Combinatorial effects of distillery and sugar factory effluents in crop plants. *Journal of Environmental Biology* 28: 577-582.
- Parameswari M (2014) Effect of textile and dye effluent irrigation on germination and its growth parameters of green gram, black gram and red gram. *International Journal of Environmental Science and Toxicology Research* 2: 6-10
- Pokhriya P, Punetha D, Arunachalam K, Arunachalam A (2017) Can we use textile effluent as a source of irrigation: A case from Bhagwanpur, Uttarakhand (India). *International Journal of Applied Environmental Sciences* 12: 527-540
- Ramya S, Kumar RP, Murugesan S, Anitha S (2017) Effect of textile effluent on seedling germination, growth and biochemical characteristics of *Arachis hypogaea* L. variety K6. *International Journal Of Pharma Research And Health Sciences* 5: 1805-1809.
- Rehman A, Bhatt HN, Athar HR (2009) Textile effluents affected seed germination and early growth of some winter vegetable crops: A case study. *Water Air and Soil Pollution* 198: 155-163.

- Rekik I, Chaabane Z, Missaoui A, Bouket C, Luptakawa L, Elleuch L (2016) Effects of untreated and treated wastewater at the morphological, physiological and biochemical levels on seed germination and development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), alfalfa (*Medicago sativa* L.) and fescue (*Festuca arundinacea* Schreb). *Journal of Hazardous Materials* 1-28.
- Rupa TR, Rao S, Rao S, Singh M (2003) Effects of farmyard manure and phosphorus on zinc transformations and phyto-availability in two alfisols of india. *Bioresource Technology* 87: 279-288.
- SE (2001) Norma Oficial Mexicana NMX-AA-051-SC-FI-2001. Análisis de agua, determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas método de prueba. Secretaría de Economía. DOF. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166785/NMX-AA-051-SC-FI-2001.pdf>. Fecha de consulta 24 de agosto de 2017.
- Schmidt RH (1989) The arid zones of Mexico: climatic extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments* 16: 241-256.
- SIAP (2018). Anuarios estadísticos de la producción agropecuaria. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap>. Fecha de consulta 16 de junio 2020
- Singh A, Eapen S, Fulekar MH (2009) Potential of *Medicago sativa* for uptake of cadmium from contaminated environment. *Romanian Biotechnological Letters* 14: 4164-4169.
- Singh A, Sharma RK, Agrawal M, Marshall F (2010) Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology* 51: 375-387.
- Tabasi S, Hassani H, Azadmehr AR (2017) Phytoextraction-based process of metal absorption from soil in mining areas (tailing dams) by *Medicago sativa* L. (alfalfa) (Case study: Sarcheshmeh porphyry copper mine, se of Iran). *Journal of Mining and Environment* 8: 419-431.
- Tóth T, Tomáš J, Lazor P, Bajčan D, Jomová K (2009) The transfer of metals from contaminated soils into agricultural plants in high Tatras region. *Czech Journal of Food Sciences* 27: 390-393.
- Wins JA, Murugan M (2010) Effect of textile mill effluent on growth and germination of black gram *Vigna munga* (L.) Hepper. *International Journal of Pharmaceutics* 1: 1-7.
- Yahagh Z, Shirvani M, Nourbakhsh F, Pueyo J (2019) Uptake and effects of lead and zinc on alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth: Role of plant growth promoting bacteria. *South African Journal of Botany* 124: 573-582.
- Yan-Jie G, Cheng-Long H, Jing-Wei F, Xiao-Peng S, Meng K, Xiao-Yan S, Kadambot HMS, Yang-Yang Z, Feng-Min L (2018) Alfalfa forage yield, soil water and p availability in response to plastic film mulch and p fertilization in a semiarid environment. *Field Crops Research* 215: 94-103.
- Younas S, Rizvi H, Ali S, Abbas F (2020) Irrigation of *Zea mays* with UASB-treated textile wastewater; effect on early irrigation of *Zea mays* with UASB-treated textile wastewater; effect on early growth and physiology. *Environmental Science and Pollution Research* 27: 15305-15324.
- Zheng N, Wang Q, Zheng D (2007) Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn and Cu to the inhabitants around Huludao zinc plant in China via consumption of vegetables. *Science of the Total Environment* 383: 81-89.