

¿ES POSIBLE USAR SUELOS CONTAMINADOS CON ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE INTERÉS BIOENERGÉTICO?

IS IT POSSIBLE TO USE SOILS POLLUTED WITH POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS FOR THE BIOFUEL CROPS PRODUCTION?

Ruiz-Olivares, A.¹, González-Chávez, M.C.A.¹, Carrillo-González, R.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 Carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230.

Autor de correspondencia: carmeng@colpos.mx

RESUMEN

Los biocombustibles parecen ser la fuente de energía en el futuro. La producción de bioenergéticos empieza a competir con los cultivos alimenticios por la superficie cultivable. Esto podría poner en riesgo el abasto de alimentos. Por tanto, se sugiere aprovechar áreas degradadas de escaso valor agronómico para la producción de bioenergéticos como, por ejemplo, suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos (EPT); los cuales impiden el establecimiento y desarrollo de las plantas. Minería, industria y agricultura son actividades que liberan EPT al ambiente y, para aprovechar los sitios contaminados, es necesario que los cultivos se adapten a las condiciones de dichos suelos. El presente trabajo aporta una revisión del potencial de diversas plantas de interés bioenergético para desarrollarse en suelos contaminados con EPT.

Palabras clave: biocombustibles, revaloración de suelos degradados, servicios ambientales.

ABSTRACT

Biofuels appears to be an energy resource of the future. Biofuels production has started to compete with production of food crops in fertile soils; which may be a risk to food security. Therefore, a suggested strategy is to use degraded areas with scarce agronomic value for the production of biofuels. For instance, soils polluted with potentially toxic elements (PTE), which hamper the establishment and development of plants. Mining, agriculture and other industrial activities release PTE into the environment. In order to make the most of polluted sites, plants need be adapted to the conditions of these soils. This study presents a review of various biofuel crops' potential to develop in soils polluted with PTE. This proposal must be critically and objectively assessed.

Keywords: biofuels, revaluation of degraded soils, environmental services.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) define degradación de suelo como un cambio en la salud de éste, que resulta en la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficios (FAO, 2016). La contaminación de un suelo por elementos potencialmente tóxicos (EPT) limita el desarrollo de plantas y microorganismos benéficos, además de que representa riesgo para las especies animales y para la salud pública. Por ello, suelos contaminados con EPT se pueden considerar como degradados. Éstos representan sitios que, además de sus efectos negativos en el ecosistema, carecen de valor agronómico. Por ello, algunos investigadores han propuesto utilizar suelos degradados para la producción de biocombustibles (Edrisi y Abhilash, 2016; de Carvalho *et al.*, 2015; ECD, 2009; Ruiz-Olivares *et al.*, 2013), lo cual tiene ventajas adicionales, tales como asegurar que la producción de bioenergéticos no sea en tierras productivas, que no se utilicen cultivos de interés alimenticio y que el uso de biocombustibles reduzca la necesidad de energía fósil y de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Debido a la toxicidad que estos elementos tienen para las plantas es necesario seleccionar las especies vegetales adecuadas para introducirlas en suelos contaminados con EPT, así como establecer manejo agronómico adecuado para asegurar la generación de la materia prima para la producción o elaboración de biocombustible.

Plantas de interés bioenergético aptas para desarrollarse en suelos contaminados con EPT

Ricinus communis L., de la familia Euphorbiaceae, el aceite de su semilla se ha utilizado para la producción de biodiesel. Esta planta es de fácil manejo agronómico y, soporta condiciones de sequía y estrés osmótico (Babita *et al.*, 2010), así como salinidad (Bauddh y Singh, 2012). Las semillas de *R. communis* contienen alta cantidad de aceite (35%-55%) (Harborne y Baxter, 2001), y tolera altas concentraciones de EPT en diferentes condiciones. Huang *et al.* (2011) mostraron que 23 genotipos de dicha especie se desarrollaron en un suelo contaminado artificialmente con 2.8 mg kg⁻¹ de Cd y 0.35 mg kg⁻¹ DDT, y dichos autores concluyeron que esta planta es un candidato promisorio para utilizarse en la fitorremediación. Asimismo, Niu *et al.* (2007) realizaron un experimento en hidroponía y expusieron plantas de esta especie a concentraciones de hasta 200 mg L⁻¹ de Pb y 20 de mg L⁻¹ Cd. Estos autores concluyeron que *R. communis* puede usarse en la extracción de Pb y Cd. No obstante estos resultados, es necesario determinar el comportamiento de *R. communis* en condiciones reales de campo directamente en sitios contaminados. Ruiz-Olivares *et al.* (2013) realizaron la caracterización de 18 sitios; en los cuáles esta especie se desarrolló naturalmente en residuos de mina. En la rizosfera de *R. communis* se determinaron concentraciones elevadas de EPT, principalmente de Pb de hasta 3883 mg kg⁻¹ y 238 mg kg⁻¹ de Pb total y extractable (con DTPA=disponible para las plantas), respectivamente. Además, el pH de dos de estos sitios fue bajo (3.0 y 5.1). En siete, *R. communis* completó su desarrollo hasta la formación de semillas, las cuales produjeron de 41% hasta 64% de aceite. Esto es remarcable debido a que algunas variedades de esta planta creciendo en

suelos no contaminados producen hasta 55% de aceite. En un estudio posterior, la calidad del aceite de las semillas de *R. communis* provenientes de los sitios contaminados se caracterizó y comparó con la calidad del aceite de semillas de sitios no contaminados (González-Chávez *et al.*, 2015), registrando que el aceite de las semillas de plantas creciendo en residuos mineros, así como la torta resultante (residuos de semillas de las que se extrajo el aceite), tuvo baja concentración de EPT. En ambos casos la concentración fue similar a la del aceite y torta producidos por las semillas de las plantas de sitios no contaminados. El aceite que se obtuvo del sitio contaminado presentó mayor cantidad de ácido linoléico, un aceite deseable que incrementa la calidad para su uso como biocombustible. Lo anterior es muy importante, ya que para que se pueda utilizar un suelo contaminado con EPT para la producción de biocombustibles es necesario garantizar también la calidad del producto final, como el aceite, adicionalmente, la torta representa un bioproducto secundario que también puede tener uso como mejorador de suelo.

Brasica napus: Es una especie de la familia Brassicaceae, cuyas semillas producen aceite. Liu *et al.* (2010) obtuvieron variedades que produjeron hasta 50% de aceite. Asimismo, por su contenido de lignocelulosa, toda la planta puede usarse para la producción de bioetanol, tal como reportaron Dhiman *et al.* (2016). *B. napus* tolera altas concentraciones de EPT. Belouchran *et al.* (2016) establecieron un experimento con tres meses de duración en un suelo contaminado artificialmente (500 mg kg⁻¹ de Zn con una solución de ZnSO₄·7H₂O). Dichos autores

observaron que *B. napus* desarrolló mayor biomasa en los tratamientos con Zn en comparación con plantas del tratamiento sin Zn. En otra investigación, Dhiman *et al.* (2016) evaluaron la producción de aceite en semillas de *B. napus* al crecer en suelos artificialmente contaminados con As, Pb, Cd, Cu, Ni y Zn. En el estudio se obtuvo bioetanol a razón de 7.6 g L^{-1} en plantas expuestas a EPT, eficiencia que fue similar a la obtenida en plantas no expuestas a dichos contaminantes.

***Helianthus annuus*:** Pertenece a la familia Asteraceae, se utiliza para la producción de biodiesel y sus semillas contienen alrededor de 42% de aceite (Laviola *et al.*, 2012). Solhi *et al.* (2005) evaluaron la producción de biomasa y capacidad de extracción de Pb y Zn de *H. annuus* en un suelo contaminado con estos elementos (29 mg kg^{-1} y 182 mg kg^{-1} de Pb y Zn extractables con DTPA, respectivamente). Las plantas acumularon Pb y Zn en una relación lineal con la concentración extractable con DTPA. No obstante, no se inhibió la producción de biomasa bajo las concentraciones de Pb y Zn encontradas. Adesodun *et al.* (2010) adicionaron a un suelo 400 mg kg^{-1} de Pb y Zn usando $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$; y observaron factores de translocación >1 para Pb y >2 para Zn en *H. annuus*. La mayor acumulación en hojas de las plantas fue de 320 kg^{-1} de Zn de 254 kg^{-1} de Pb. Los autores concluyen que *H. annuus* es una planta candidata para remediar suelos contaminados, dado su potencial de extracción de Pb y Zn. Sin embargo, este estudio podría complementarse si las plantas logran producir semillas con el contenido de aceite suficiente para producir biodiesel.

***Jatropha curcas*:** Es una planta de la familia Euphorbiaceae, nativa de México y América central. Sus semillas contienen entre 27% y 40% de aceite, el cual se utiliza para la producción de biodiesel de calidad suficiente para usarse en motores (Achten *et al.*, 2007). Otra propiedad importante, es que es resistente a la sequía (Corro *et al.*, 2012); asimismo, diversos autores han encontrado que puede usarse en la fitorremediación de suelos contaminados con EPT (Pandey *et al.*, 2012). González-Chávez *et al.* (2016) mostraron que una accesión no tóxica de *J. curcas* fue tolerante a crecer en residuo de mina con concentraciones extractables con DTPA de $8,108.6$ y 6 mg kg^{-1} de Cu, Zn, Cd y Pb. Después de 105 días del trasplante, las plantas se desarrollaron sin síntomas de toxicidad y presentaron bajos niveles de acumulación de estos contaminantes en la parte aérea. Los factores de translocación fueron menores a uno, lo que indicó que no hubo acumulación significativa en la parte aérea de las plantas. Chang *et al.* (2014) evaluaron la capacidad de *J. curcas* para desarrollarse durante dos años en un suelo contaminado con Cd, Cr, Ni y Zn en Taiwán. Tan solo seis meses después del trasplante, las plantas aumentaron 35.1%, 39.7% y 31.8% su biomasa radical, así como de tallos y hojas. A los dos años después del trasplante, las plantas acumularon EPT por debajo de la concentración umbral para considerarlas hiperacumuladoras. No obstante, en las investigaciones realizadas no se determinó la concentración de EPT en semillas.

Árboles: son especies recientemente estudiadas para la producción de bioetanol, que se produce a partir

de la celulosa que generan. Estas especies son de gran interés, dado que desarrollan una biomasa masiva que se puede utilizar para la generación de combustibles. Cerca de 50% de la composición de la madera es celulosa, y por esta razón, esta materia se considera como la principal fuente para producir bioetanol en árboles (Jiménez *et al.*, 2004). Otra ventaja del uso de árboles es que participan en la captura de carbono atmosférico. Algunas especies que han sido caracterizadas para la producción de bioetanol son *Pinus pinnata*, *P. radiata* (Jiménez *et al.*, 2004), *Populus* spp. (Hart *et al.*, 2015). Recientemente se han generado especies transgénicas de árboles para incrementar en su biomasa el contenido de celulosa y disminuir el de lignina. A su vez, se busca aumentar la eficiencia y generar árboles de rápido crecimiento (Tang y Tang, 2014). Mertens *et al.* (2004) evaluaron las especies *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Populus alba* y *Robinia pseudoacacia* para desarrollarse en sedimentos salobres contaminados con Cd, Cu, Pb y Zn. Dichos autores observaron que la concentración de EPT en las hojas de cuatro de las especies vegetales fueron normales, así que sugirieron que son aptas para la fitoestabilización. No obstante, *P. alba* acumuló concentraciones elevadas de Cd (8.0 mg kg^{-1}) y Zn (465 mg kg^{-1}), por lo que esta especie no sería una especie adecuada para utilizarse como fitoestabilizadora. No obstante, sería necesario evaluar también la concentración de EPT acumulada en tallos de estas plantas. Los datos de acumulación de EPT en los tejidos de plantas para utilizarse en la producción de biocombustibles son importantes, debido a que estos contaminantes afectan

negativamente la calidad del combustible y podrían representar una fuente de contaminación en el ambiente.

Manejo agronómico de especies de interés bioenergético en suelos contaminados con EPT

Ya se ha visto que varias especies vegetales de interés bioenergético son útiles para desarrollarse en suelos contaminados con altas concentraciones de EPT. No obstante, se requiere manejo agronómico para aportar los nutrientes necesarios para el desarrollo del producto que se procesará para obtener el biocombustible. Una opción adecuada en sitios contaminados es la adición de enmiendas. Estos materiales pueden funcionar además para inmovilizar EPT y evitar su acumulación en el aceite o en los tejidos que se utilizarán para la producción de biodiesel o bioetanol. Solhi *et al.* (2005) agregaron estiércol composteado (7.5 y 15 g kg⁻¹) para fomentar el crecimiento de *H. annuus* creciendo en un suelo contaminado con Pb y Zn. El estiércol incrementó la biomasa de las plantas y fue significativamente mayor al tratamiento testigo (sin adición de estiércol). Ruiz-Olivares *et al.* (2016) utilizaron enmiendas orgánicas (vermicompost y vermicompost+aserrín) para aportar nutrientes en un suelo contaminado con Pb, altas concentraciones de sales y deficiente en nitrógeno. Las enmiendas favorecieron el establecimiento y crecimiento de las plantas. Marques *et al.* (2013) utilizaron bacterias promotoras de crecimiento para fomentar el desarrollo de *H. annuus* en un suelo contaminado con Cd y Zn inoculadas con *Chrysiobacterium humi*, y fueron comparadas con las no inoculadas, registrando menor acumulación de Zn en tejidos de la parte aérea y de Cd en la raíz. Otro aspecto importante a tomar en cuenta en el manejo agronómico es el clima, dado que las plantas se adaptan a diferentes climas. *B. napus*, *H. annuus* podrían utilizarse en regiones templadas, mientras que *R. communis* para zonas áridas y *J. curcas* en las tropicales.

CONCLUSIONES

Diversas investigaciones muestran que es posible utilizar arbustos y árboles para la producción de biocombustible en suelos degradados con EPT. La generación de dichos biocombustibles representa un área oportunidad no solo para remediar el suelo, sino también para la utilización de aquellos que están degradados y que ofrecen servicios ambientales, tales como captura de carbono atmosférico, incremento de la fertilidad del suelo, prevención de la dispersión de contaminantes y producción de biocombustibles.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo forma parte del proyecto CONACyT PD-CAPN-2013-215241.

LITERATURA CITADA

- Achten W.M.J., Mathijs E., Verchot L., Singh V.P., Aerts R., Muys B. 2007. *Jatropha* biodiesel fueling sustainability. *Biofuels. Bioproducts and Biorefining* 1: 283-291.
- Adesodun J.K., Atayese M.O., Agbaje T., Osadiaye B.A., Mafe O., Soretire A.A. 2010. Phytoremediation potentials of sunflowers (*Tithonia diversifolia* and *Helianthus annuus*) for metals in soils contaminated with zinc and lead nitrates. *Water, Air, & Soil Pollution* 207: 195-201.
- Allan Yu Iwama dECD (European Commission. Directive). 2009. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/EC and 2003/30/EC; 2009. Disponible en <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/AL/L/?uri=CELEX%3A32009L0028:0062>. Fecha de consulta: 8/05/2013.
- Babita M., Maheswari M., Rao L.M., Shanker A.K., Rao D.G. 2010. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. *Environmental and Experimental Botany* 69: 243-249.
- Bauddh K., Singh R.P. 2012. Growth, tolerance efficiency and phytoremediation potential of *Ricinus communis* (L.) and *Brassica juncea* (L.) in salinity and drought affected cadmium contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 85: 13-22.
- Belouchrani A.S., Mameri N., Abdi N., Gribb H., Lounici H., Drouiche N. 2016. Phytoremediation of soil contaminated with Zn using Canola (*Brassica napus* L.). *Ecological Engineering* 95: 43-49.
- Chang F.C., Ko C.H., Tsai M., Wang Y., Chung C. 2014. Phytoremediation of heavy metal contaminated soil by *Jatropha curcas*. *Ecotoxicology* 23:1969-1978.
- Corro G., Tellez N., Banuelos F., Mendoza M.E. 2012. Biodiesel from *Jatropha curcas* oil using Zn for esterification step and solar radiation as energy source *Fuel* 97: 72-79.
- de Carvalho C.M., Silveira S., La-Rovere E.L., Iwama A.Y. 2015. Deforested and degraded land available for the expansion of palm oil for biodiesel in the state of Pará in the Brazilian Amazon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44: 867-876.
- Dhiman S.S., Selvaraj C., Li J., Singh R., Zhao X., Kim D., Kim J.Y., Kang Y.C., Lee J.K. 2016. Phytoremediation of metal-contaminated soils by the hyperaccumulator canola (*Brassica napus* L.) and the use of its biomass for ethanol production. *Fuel* 183: 107-114.
- Edrisi S.A., Abhilash P.C. 2016. Exploring marginal and degraded lands for biomass and bioenergy production: An Indian scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54: 1537-1551.
- González-Chávez M.C.A., Ruiz-Olivares A, Carrillo-González R., Ríos-Leal E. 2014. Crude oil and bioproducts of castor bean (*Ricinus communis* L.) plants established naturally on metal mine tailings. *International Journal of Environmental Science and Technology* 12: 2263-2272.
- Harborne J.B., Baxter H. 2001. *Chemical Dictionary of Economic Plants*. John Wiley & Sons. 217 p.
- Hart Q.J., Tittmann P.W., Bandaru V., Jenkins B.M. 2015. Modeling

- poplar growth as a short rotation woody crop for biofuels in the Pacific Northwest. *Biomass and bioenergy* 79: 12-27.
- Huang H., Yu N., Wang L., Gupta D.K., He Z., Wang K., Zhu Z., Yan X., Li T., Yang X. 2011. The phytoremediation potential of bioenergy crop *Ricinus communis* for DDTs and cadmium co-contaminated soil. *Bioresource Technology* 102: 11034-11038.
- Jiménez A.B., Calderón J.F., Hernández J.B., Gutierrez J.R., Bancalari M.E. 2004. Relación entre edad del árbol y su composición química en *Pinus radiata* (D.Don) crecido en Chile y su importancia para la producción de bioetanol. *Kurú: Revista Forestal* 1.
- Laviola B.G., Alves A.A., Rocha R. B., Drumond M.A. 2012. Chapter 5: The importance of *Jatropha* for Brazil. In: Carels N., Sujatha .M, Bahadur B (Eds). 2012. *Jatropha*, Challenges for a New Energy Crop: Volume 1: Farming, Economics and Biofuel. Springer Science & Business Media. 600 pp.
- Liu L.A., Wei D.Q., Li Y. (Eds). 2010. *Interdisciplinary Research and Applications in Bioinformatics, Computational Biology, and Environmental Sciences*. IGI Global. p 87.
- Marques A.P.G.C., Moreira H., Franco A.R., Rangel A.O.S.S., Castro P.M.L. 2013. Inoculating *Helianthus annuus* (sunflower) grown in zinc and cadmium contaminated soils with plant growth promoting bacteria – Effects on phytoremediation strategies. *Chemosphere* 92: 74-83.
- Mertens J., Vervaeke P., Schrijver A.D., Luysaert S. 2004. Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation *Science of the Total Environment* 326: 209-215.
- Niu Z., Sun L., Sun T., Li Y., Wang H. 2007. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *Journal of Environmental Sciences* 19: 961-967.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés). 2016. Degradación de suelos. Portal de suelos de la FAO. Documento web, disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>. Fecha de acceso: 07/10/2016.
- Pandey V.C., Singh K., Singh J.S., Kumar A., Singh B., Singh R.P. 2012. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2870-2883.
- Ruiz-Olivares A., Carrillo-González R., González-Chávez M.C.A., Soto-Hernández R.M. 2013. Potential of castor bean (*Ricinus communis* L.) for phytoremediation of mine tailings and oil production. *Journal of Environmental Management* 114: 316-323.
- Solhi M., Shareatmadari H., Hajabbasi M. 2005. Lead and zinc extraction potential of two common crop plants, *Helianthus annuus* and *Brassica napus*. *Water, Air, and Soil Pollution* 167: 59-71.
- Tang W., Tang A.Y. 2014. Transgenic woody plants for biofuel. *Journal of Forestry Research* 25: 225-236.