

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN MÉXICO: UNA HISTORIA DE ÉXITO CON NUEVOS DESAFÍOS

GENETIC IMPROVEMENT OF SUGARCANE (*Saccharum* spp.) IN MÉXICO: A STORY OF SUCCESS WITH NEW CHALLENGES

Senties-Herrera, H.E.¹, Gómez-Merino, F.C.², y Loyo-Joachin, R.¹

¹Centro de Investigación, Innovación y Transferencia Agrícola Tangamanga, A.C. Carretera Cosamaloapan-Tuxtepec km 99. Rancho San Rafael, Tangamanga, Municipio de Cosamaloapan de Carpio, Veracruz, México. C.P. 95420. ²Colegio de Postgraduados *Campus* Córdoba, Carretera Córdoba-Veracruz km 348. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94961.

Autor de correspondencia: hector.ciitatac@gmail.com

RESUMEN

El programa de mejoramiento genético de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA) junto con las estaciones de Hibridación y Cuarentenaria, y once Centros Experimentales Regionales, genera, evalúa y selecciona nuevas variedades de alto rendimiento agroindustrial, con resistencia a las principales plagas, y buena adaptabilidad a las diferentes condiciones agroclimáticas de las seis regiones cañeras que existen en México, para hacer frente a los embates del cambio climático. En esta contribución se analiza la estructura del programa nacional de mejoramiento genético, logros importantes y algunos desafíos que este sector enfrenta en la actualidad. Se destacan adelantos científicos y tecnológicos, aunque se continúa con un esquema de mejoramiento genético convencional, que implica un periodo de 14 a 15 años para liberar una nueva variedad. Con este esquema, se ha logrado generar un número considerable de variedades que ocupan el 55% de la superficie cultivada con caña, que posiciona a México como el sexto productor mundial de este cultivo. Dentro de los retos más cruciales se encuentra el aumento de la base genética, los rendimientos de campo y la necesidad de diversificación del cultivo y la industria.

Palabras clave: Poaceae, Saccharinae, hibridación, selección.

ABSTRACT

The program for sugarcane (*Saccharum* spp.) genetic improvement of the Center for sugarcane Research and Development (Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar, CIDCA), together Hybridization and Quarantine Stations and eleven Regional Experimental Centers, generates, evaluates and selects new varieties of high agro-industrial yield, with resistance to the main pests and good adaptability to different agro-climate conditions in the six sugarcane regions in México, to endure the assault from climate change. In this contribution, the structure of the national program for genetic improvement is analyzed, as well as important achievements and some challenges that this sector currently faces. Scientific and technological advancements are highlighted, although a scheme for conventional genetic improvement is continued, which implies a period of 14 to 15 years to liberate a new variety. Even so, an important number of varieties have managed to be generated, which occupy 55 % of the surface cultivated with sugar cane, placing México as the sixth world producer of this crop. The most crucial challenges are the increase of the genetic base, the field yields, and the need for diversification of the crop and the industry.

Keywords: Poaceae, Saccharinae, hybridization, selection.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 7, julio. 2016. pp. 8-13.

Recibido: marzo, 2016. **Aceptado:** junio, 2016.



INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo ampliamente distribuido en el mundo y en la actualidad se produce en más de 130 países y territorios. Brasil ocupa el primer lugar con 30% de la producción mundial, seguido de India con 21%, China con 7% y México ocupa el sexto lugar con 3.5% (Senties-Herrera y Gómez-Merino, 2014). Este cultivo se extiende a lo largo de los trópicos y subtropicales entre los 37.7° N, hasta los 31° S, desde el nivel del mar hasta altitudes de 1,600 m (Salgado-García *et al.*, 2013). Su capacidad productiva varía entre las zonas cañeras tropicales y subtropicales, de 40 a 150 t ha⁻¹ de caña y de 3.5 a 15 t ha⁻¹ de azúcar en promedio (Romero *et al.*, 2014), con rendimientos potenciales que se calculan desde 470 t ha⁻¹ según Dal-Bianco *et al.* (2012), hasta 805 t ha⁻¹, de acuerdo con Yavad

et al. (2010). En México, el cultivo de la caña de azúcar en términos de generación de valor, se constituye como el segundo más importante del país, solo después de la cadena de valor del maíz. La producción se concentra en seis regiones: Noroeste (Sinaloa), Pacífico (Nayarit, Colima, Jalisco y Michoacán), Centro (Morelos y Puebla), Noreste (Tamaulipas y San Luis Potosí), Golfo (Veracruz, Tabasco, Oaxaca) y Sur (Campeche, Chiapas y Quintana Roo) (Hernández-Cázares, 2014; Senties-Herrera *et al.*, 2014) (Figura 1). La Región Golfo es la más importante con una participación de 47.8% de la producción nacional, seguida por la Pacífico con el 20.4%, Noreste con 13.5% y las regiones Noreste, Noroeste y Sur participan con 18.1% restante (Senties-Herrera *et al.*, 2014). La superficie cultivada es de alrededor de 800 mil hectáreas (CNPR, 2016), con una superficie potencial de aproximadamente cinco millones de hectáreas (SIAZUCAR, 2009).

En las últimas diez zafras (2004/2005 a 2014/2015) la producción de caña por hectárea ha presentado cam-

bios importantes (Figura 2). El rendimiento de caña en las primeras ocho zafras se redujo en 15% para este periodo, ya que en la zafra 2004/2005 se obtuvo un rendimiento promedio de 77 t ha⁻¹ y paso a 65 t ha⁻¹ en la zafra 2011/2012. Sin embargo, para la zafra inmediatamente posterior se incrementó 16% el rendimiento promedio para alcanzar 78 t ha⁻¹, pero esta tendencia no se mantuvo en las dos zafras posteriores (2013/2014 y 2014/2015), ya que se mostró reducción de 13%, para llegar a un rendimiento de 68 t ha⁻¹. Esta tendencia se mantiene si-

milar al análisis realizado por Senties-Herrera *et al.* (2014), que indica que el crecimiento anual es del 0.4%, y que en comparación con los aumentos observados en Brasil, los cuales han alcanzado 1.5% anual (Waclawovsky *et al.*, 2010), las ganancias que se han obtenido en México siguen siendo bajas, sin embargo, la superficie sembrada, se ha incrementa-

do año con año; registrando para la zafra 2004/2005 con más de 650 mil hectáreas y para la zafra 2014/2015 superó las 800 mil ha de cultivo equivalente a 23% de aumento.

Con relación a materiales de caña de azúcar más empleados en México, para 1980, nueve variedades ocuparon 70% de área cultivada, y en 2012, se redujo a cuatro variedades (CP 72-2086, Mex 69-290, Mex 79-431 y ITV 92-1424) que ocuparon 73% de la superficie cultivada (Senties-Herrera y Gómez-Merino, 2014). Para el año 2014, esta misma tenencia de las variedades se mantuvo (Figura 3).

Características del programa de mejoramiento genético de caña de azúcar

En México el mejoramiento genético de caña de azúcar se realiza por vía sexual, en la Estación de Hibridación ubicada en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas desde 1952 (IMPA, 1983). Los trabajos de hibridación en los

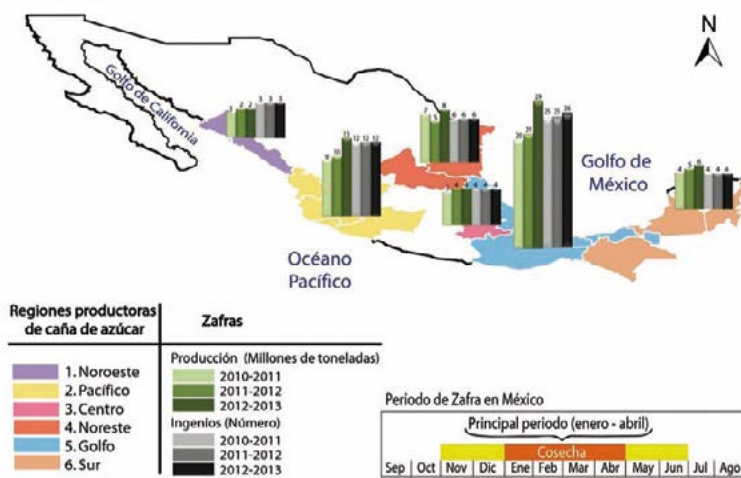


Figura 1. Regiones productoras de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en México. Las columnas verdes sobre las entidades representan la producción de caña de azúcar por zafra en millones de toneladas, en tanto que el número de ingenios azucareros que operaron se representa en columnas grises, ciclos de cosecha: 2010/2011; 2011/2012; 2012/2013.

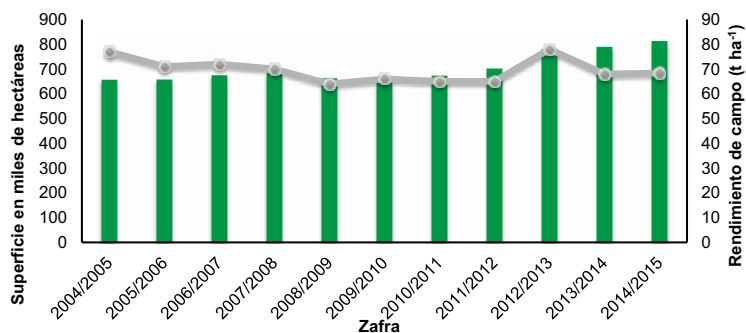


Figura 2. Variación en la superficie sembrada (columnas) y rendimiento promedio por hectárea de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) (línea superior) (Fuente: CNPR, 2016, Manual Azucarero Mexicano, 2016).

últimos 60 años han permitido que más de 150 variedades mexicanas se hayan liberado, y ocupen 55% de la superficie sembrada del país; el 45% restante se encuentra sembrado con variedades extranjeras, gracias al Programa de Intercambio e Importación de Variedades que mantiene la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA) (CIDCA, 2016). Senties-Herrera *et al.* (2014), reportan que las variedades mexicanas sobresalientes son: Mex 69-290, Mex 79-431, ITV 92-1424, Mex 68-P-23, Mex 57-473, ATEMEX 96-40, Mex 69-749, Mex 68-1345, Mex 55-32, Mex 73-1240 y Mex 80-1410, y las extranjeras de mayor importancia son: CP 72-2086, RD 75-11, My 55-14, NCo 310, SP 70-1284, Co 997, L 60-14 y CP 44-101. De todas ellas, destaca la variedad CP 72-2086, la cual ocupa el primer lugar en superficie cultivada a partir de la zafra 2010/2011 (Salgado *et al.*, 2013; Senties-Herrera *et al.*, 2014). Lo anterior sugiere que el programa de mejoramiento del país necesita ampliar su base genética, dada la tendencia a mayor homogeneidad de los materiales y que hacen vulnerable al sistema ante embates de naturaleza tanto biótica como abiótica, como lo demostraron González-Jiménez *et al.* (2011), al evaluar la similitud de 12 variedades de caña de azúcar del estado de Tabasco. El dendrograma derivado de análisis de AFLP reveló solo tres grupos distintos de *Saccharum* spp. El grupo I comprendió las variedades C 87-51, ATM 96-40, B 4362, Mex 69-290, Mex 57-1285 y Mex 91-130, las cuales presentaron un 0.77% de similitud genética. El grupo II comprendió las variedades, RD 75-11, Mex 79-431, SP 70-1284, Mex 59-32 y CP 72-2086, las cuales formaron un conglomerado, por consiguiente 0.70% de características genéticas similares. El grupo III lo integró la variedad Mex 68-P-23, que presentó menor similitud genética con 0.22% al resto de las variedades. Senties-Herrera y Gómez-Merino (2014), han abordado ampliamente esta problemática con su propuesta de nuevas directrices en mejoramiento genético en caña de

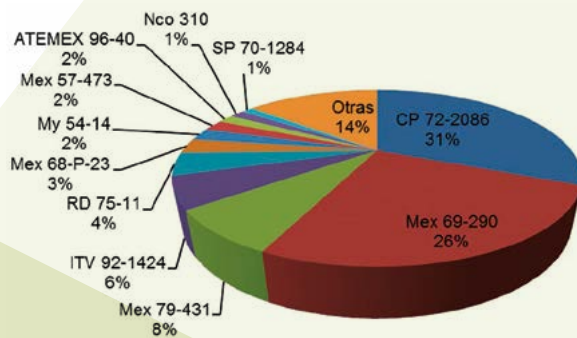


Figura 3. Distribución porcentual de las principales variedades que sustentan el 86% de la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en México (Manual Azucarero Mexicano, 2015).

azúcar. Por otra parte, Gómez-Merino *et al.* (2014), describen cuales con las necesidades de innovación más apremiantes en la producción de este importante cultivo, entre las que destaca la generación de nuevas variantes con adaptación a variables de cambio climático global (Cuadro 1).

Coordinación del programa de mejoramiento genético

El principal objetivo de la estrategia nacional de mejoramiento genético en caña de azúcar es seleccionar variedades adecuadas a las seis regiones agroecológicas del país, a través del trabajo coordinado del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA), una estación de Hibridación y otra de Cuarentena, con once Campos Experimentales Regionales (CER), que atienden a un determinado número de ingenios (Figura 4) (Senties-Herrera *et al.*, 2014).

La Estación de Hibridación se encuentra en las instalaciones del CIDCA, ubicado en la Carretera Tapachula-Talismán km 17.5, entre los paralelos 14° 57' de latitud norte y 90° 10' de longitud oeste, a 366 metros sobre el nivel del mar. Esta ubicación proporciona excelentes condiciones naturales para obtener Fuzz (semilla botánica) de alta calidad y viabilidad. Cuenta con un banco de germoplasma compuesto por 3,184 variedades de las cuales, 1,133 son mexicanas y 2,051 extranjeras. Cuenta además con 16 bancos de cruza- mientos constituidos por un grupo selecto de progenitores. El cruzamiento de estos materiales se lleva a cabo anualmente para obtener

Cuadro 1. Necesidad de innovación en la producción de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en México (Gómez-Merino *et al.*, 2014).

En uso de insumos y aprovechamiento de recursos naturales	En aspectos ambientales y cambio climático	En aspectos agronómicos
<ul style="list-style-type: none"> • Uso eficiente del agua • Uso eficiente de fertilizantes, biofertilizantes y abonos • Aprovechamiento estratégico de recursos genéticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a sequías • Resistencia a heladas • Resistencia a inundaciones • Resistencia a choque térmico • Tolerancia y resistencia a plagas y enfermedades • Gestión ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha en verde y mecanización • Digitalización y agricultura de precisión • Aplicaciones biotecnológicas y ciencias genómicas • Organización de productores • Certificación de procesos



Figura 4. Coordinación del programa de mejoramiento genético y selección de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en México.

genotipos potencialmente adaptables a las diferentes zonas agroecológicas de México y cumplir compromisos internacionales, dado que el CIDCA trabaja conjuntamente en el mejoramiento genético y selección de variedades con países como Guatemala, Colombia y Venezuela (CIDCA, 2016). La Estación Nacional Cuarentenaria de la Caña de Azúcar (ENCCA) se localiza en Tizimín, Yucatán, que recibe material genético foráneo, y es evaluado durante 18 meses para confirmar su sanidad. El material sano es remitido a los diferentes CER, así como al

CIDCA. Se ingresa al Banco de Germoplasma solo aquel genotipo que presenta características sobresalientes para ser usado como progenitor, con el fin de aportar variabilidad para el programa de hibridación (Flores-Revilla, 2012). Los CER se distribuyen de manera estratégica en las seis regiones agroecológicas de México, lo que ha permitido seleccionar variedades bajo una adecuada presión de selección, y que actualmente se cuenta con todas las fases selectivas. Bajo este programa este programa convencional se requiere de 14-15 años para ob-

tener el primer resultado, pero una vez establecido el proceso cada año se generan nuevas variedades (Flores, 2001). Actualmente, algunos CER ya cuentan con variedades liberadas para el campo comercial tales como: ATEMex 96-40, ATEMex 98-1, LGM 92-156, ICPMex 92-1420, LTMex 96-10, MOTZMex 91-207, MOTZMex 91-789 (CIDCA, 2016). En la actualidad, la nomenclatura de las nuevas variedades será designada con las sigla Mex, seguidas del año de generación (año en que se realizó el cruzamiento) y la numeración restante se determinará con base a

los rangos asignados a cada CER (Flores-Revilla, 2012). En años recientes se ha dado un impulso considerable al desarrollo biotecnológico para el mejoramiento genético de la caña de azúcar. Hasta ahora ha sido claro que se carece de herramientas moleculares aplicables a este cultivo, y los esfuerzos iniciales por desarrollar una plataforma de etiquetas de secuencias expresadas (EST: <http://sucest-fun.org/index.php/projects/sucest>) ha tenido poco impacto en el mejoramiento (Dal Bianco *et al.*, 2012). Uno de los grandes desafíos que enfrenta el cultivo de la caña de azúcar para desarrollar estrategias de mejoramiento eficientes es la complejidad del genoma, aunado a problemas de baja eficiencia de transformación genética, inactivación de transgenes, variación somaclonal y dificultades de los retrocruzamientos (Birch, 2014). En general, los modelos probabilísticos desarrollados por especialistas en genética estadística son aplicables solo a especies diploides, y no son aptos para especies poliploides como la caña de azúcar. La contribución de alelos múltiples a caracteres complejos como el rendimiento continúa siendo una pregunta sin resolver para la caña de azúcar. Pese a ello, los avances recientes en genómica funcional de este cultivo han permitido definir rutas genéticas importantes para su mejoramiento (Grativol *et al.*, 2014). Se espera que tanto los protocolos de transformación genética como de mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares se hagan más eficientes y permitan en un futuro aumentar la capacidad de síntesis de azúcar, tolerancia o resistencia a embates ambientales y de mayor rendimiento (Dal Bianco *et al.*, 2012). Debido a su destacada capacidad para convertir la energía lumínica en carbohidratos y su habilidad para acumular sacarosa en sus tallos, además de su fácil cultivo, la caña de azúcar representa una de las plantas más interesantes para la producción agroalimentaria y bioenergética.

CONCLUSIONES

El mejoramiento genético de la caña de azúcar en México ha permitido que más de 50% de la superficie cultivada la ocupen variedades generadas por dicho programa. Este programa presenta una estructura bien organizada para llevar a cabo los trabajos de hibridación, evaluación y selección de nuevas variedades, esfuerzos que se traducen en materiales mejorados que responden a la problemática agroindustrial y variables del cambio climático para las distintas regiones productoras del país. Para aumentar la eficiencia de este cultivo como cadena de valor en general, se sugiere tomar alternativas relacionadas con producción, rentabilidad y sostenibilidad,

con sólidas bases científicas, que consideren aplicaciones biotecnológicas, tales como el cultivo de tejidos, ingeniería genética y selección asistida por marcadores moleculares, que permitan hacer predicciones genómicas y análisis multivariados que contribuyan a mejorar el sistema de producción de la caña de azúcar en México.

LITERATURA CITADA

- Birch R.G. 2014. Sugarcane Biotechnology: Axenic Culture, Gene Transfer, and Transgene Expression. *In: Moore P.H. and Botha F.C. (Eds.), Sugarcane: Physiology, Biochemistry & Functional Biology.* WILEY Blackwell. pp. 645-673
- CIDCA, 2016. Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA). <http://www.camaraazucarera.org.mx/Cidca.aspx>
- CNPR. 2016. Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar 2003/2014. http://www.caneros.org.mx/site_caneros/estadisticas/nacional.pdf
- Dal-Bianco, M., Sampaio-Carneiro, M., Takeshi-Hotta, C., Giacomini-Chapola, L., Hoffmann, H.P., Franco-Garcia, A.A. and Mendes-Souza, G. 2012. Sugarcane improvement: how far can we go? *Current Opinion in Biotechnology* 23(2): 265-270.
- Flores, C.F. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. México. 308 p.
- Flores-Revilla, C. 2012. Proyectos: Avances y Resultados 2012. http://www.caneros.org.mx/site_caneros/descargas/pleno_gdl/04_PONENCIA_ESTACIONES_HIBRIDACION.pdf
- Gómez-Merino, F.C., Trejo-Télez, L.I., Morales-Ramos, V., Salazar-Ortiz, J., Velasco-Velasco, J., Senties-Herrera, H.E. y Ladewig, P. 2014. Necesidades de innovación en la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad*. 7(2): 9-15.
- González-Jiménez V., Valdez-Balero, A., Gómez-Merino, F.C., Silva-Rojas, H. V., Pérez-Flores, J., Ortiz-García, C. F. 2011. Caracterización molecular de variedades de caña de azúcar cultivadas en el estado de Tabasco, México. *Biología Vegetal* 11: 107-113.
- Grativol, C., Rugulski, M., Bertalan, M., McCombie, W.R., Rodrigues da Silva, F., Zerlotini-Neto, A., Vicentini, R., Farinelli, L., Silva-Hemerly, A., Martienssen, R. A., Gomes-Ferreira, P. C. 2014. Sugarcane genome sequencing by methylation filtration provides tools for genomic research in the genus *Saccharum*. *The Plant Journal*. 79: 162-172.
- Hernández-Cázares, A.S. 2014. La agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en México. *Agroproductividad*. 7(2): 35-41.
- IMPA. 1983. Programa de variedades. Objetivos, importancia y metodología experimental. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar, México. 63 p.
- Manual Azucarero Mexicano. 2015. 58ª Edición. Compañía Editora del Manual Azucarero. México, D.F. 505 p.
- Manual Azucarero Mexicano. 2015. 59ª Edición. Compañía Editora del Manual Azucarero. México, D.F. 495 p.
- Romero, E.R., Scandaliaris, J., Digonzelli, P.A., Leggio-Neme, M.F., Giardina, J.A., Fernández-de-Ullivarri, J., Casen, S.D., Tonatto, M.J. y Alonso, L.G. 2014. La caña de azúcar. Características y

- ecofisiología. *In*: Romero, E.R., Digonzelli, P.A. y Scandaliaris, J. (Eds.). Manual del Cañero. pp. 13- 22.
- Salgado-García, S., Lagunes-Espinoza, L.C., Núñez-Escobar, R., Ortiz-García, C.F., Bucio-Alanis, L. y Aranda-Ibañez, E. 2013. Caña de azúcar. Producción sustentable. Mundi Prensa-Colegio de Postgraduados. México, D. F. 528 p.
- Sentíes-Herrera, H.E. y Gómez-Merino, F.C. 2014. Nuevas directrices en mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad*. 7(2): 9-15.
- Sentíes-Herrera, H.E., Gómez-Merino, F.C., Valdez-Balero, A. Silva-Rojas, H.V. and Trejo-Téllez, L.I. 2014. The Agro-Industrial Sugarcane System in Mexico: Current Status, Challenges and Opportunities. *Journal of Agricultural Science*. 6(4): 26-55.
- SIAZUCAR. 2009. Convención Nacional de Geografía 2009. <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/eventos/cng2009/memoria/cng2009/20091019%20siazucar%20para%20cng%20julio%20c-rivera.pps>
- Waclawovsky, A.J., Sato, P.M., Lembke, C.G., Moore, P.H. and Souza, G.M. 2010. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnology Journal* 8(3):263-276.
- Yadav D.V., Jain, R. and Rai, R. K. 2010. Impact of Heavy Metals on Sugarcane. *In*: Sherameti, I. and Varma, A. (Eds.). Soil Heavy Metals-Soil Biology. pp. 339-367.

