

## EFFECTOS DE CONTAMINANTES EN SUELO POR UN VERTEDERO A CIELO ABIERTO EN TABASCO

### EFFECTS OF POLLUTANTS IN SOIL BY AN OPEN-HEAVY DUMP IN TABASCO

Rueda Balcazar I.R.<sup>1</sup>, Gómez Rodríguez A.C, García Ocaña J.A., López Ocaña G.<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya.  
CP. 86150 Tel. 354 43 08. Villahermosa, Tabasco, México.  
ocanagl77@hotmail.com

#### RESUMEN

La disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos (RSU) a cielo abierto, es una fuente de contaminación hacia el suelo, el aire y el agua. En México los Ayuntamientos son los responsables del manejo de los RSU implementando estrategias de control y tratamiento. Tenosique, aunque concluyó un relleno sanitario desde 2004, presenta contaminación por la disposición de residuos a cielo abierto, afectación a la flora y fauna local y genera gases de efecto invernadero producto de la combustión incompleta de los residuos. Para conocer las afectaciones por contaminantes se

realizó el levantamiento topográfico de 13 ha, donde se realizaron sondeos de la profundidad de residuos (3.5 m), se instalaron pozos de monitoreo (10 de agua freática y 6 de suelo), para posteriormente caracterizar las muestras y testigo. Actualmente el vertedero recibe RSU que se estiman en  $63 \pm 9$  Ton día<sup>-1</sup>, la generación de lixiviados aportados al subsuelo es de  $35,310 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ , los niveles de concentración de contaminantes básicos y peligrosos es crítica como el Ni, Cd y Pb pues rebasan los límites permisibles establecidos por la NOM-021-SEMARNAT-2000. El área de disposición final consta de  $129,970.8 \text{ m}^2$  y el frente de trabajo es de  $38,463.9 \text{ m}^2$ .

Toda esta área se encuentra con RSU y aun con quemas al sur y oeste, el volumen de RSU acumulado se estima en 175,000 m<sup>3</sup>, dicho material tiene que ser removido ya que para tratar in situ o ex situ el suelo contaminado debe estar libre de los RSU.

**Palabras clave:** Contaminante, Disposición final, Lixiviado, Residuo sólido urbano, Volumen de residuos.

## ABSTRACT

The inadequate disposal of urban solid waste (MSW) in the open air is a source of contamination to the soil, air and water. In Mexico Councils are responsible for the management of the MSW implementing control and treatment strategies. Tenosique, although it has completed a sanitary landfill since 2004, has been contaminated by the disposal of open-sky waste, affecting the local flora and fauna and generating greenhouse

gases due to incomplete combustion of the waste. In order to know the affectations by contaminants, the topographic survey of 13 ha was carried out, where soundings of the depth of residues were made (3.5 m), monitoring wells were installed (10 of groundwater and 6 of soil), to later characterize the samples and witness. Currently the landfill receives MSW estimated at 63 ± 9 Ton day<sup>-1</sup>, the generation of leachate provided to the subsoil is 35,310 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>, the levels of concentration of basic and dangerous pollutants is critical as Ni, Cd and Pb as they exceed the permissible limits established by NOM-021-SEMARNAT-2000. The final disposal area consists of 129,970.8 m<sup>2</sup> and the work front is 38,463.9 m<sup>2</sup>. All this area is with MSW and even with burning to the south and west, the accumulated MSW volume is estimated at 175,000 m<sup>3</sup>, this material has to be removed since to treat

in situ or ex situ the contaminated soil must be free of MSW.

**KEYWORDS:** Final disposal, Leachate, Pollutant, Solid urban waste, Waste volume.

## INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son generados en las casas habitación y resultan de la eliminación de los materiales utilizados en actividades domésticas, de productos de consumo, de envases, embalajes o empaques; de residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos [1]. Los RSU han evolucionado a lo largo del tiempo, tanto en volumen como en composición, resultado entre otras cosas; del crecimiento poblacional, los patrones de consumo, las nuevas

sustancias y productos que continuamente ingresan al mercado [2].

En Tabasco, los RSU están a cargo de los municipios realizando la recolección, transporte y disposición final en vertederos a cielo abierto y algunos rellenos sanitarios [3], particularmente en Tenosique, no existe un manejo adecuado en la disposición final de RSU pues se dispone a cielo abierto sobre las márgenes del arroyo El Polev y sus áreas aledañas, contaminando el cuerpo de agua, el suelo y emitiendo gases por quema o descomposición microbiana de los residuos [4]. Tenosique tiene en abandono el relleno sanitario que desde el 2004 se construyó [5], pero previo a la operación de un relleno sanitario es necesario evaluar la afectación del sitio actual para dar inicio al saneamiento, determinando los daños ambientales por la migración de lixiviado en el suelo y aguas freáticas [6]. La contaminación, pone en peligro la salud pública y los

ecosistemas, afectan a distintos materiales de la infraestructura aledaña, reducen la visibilidad en el área y producen olores desagradables [4]. Los RSU aún depositados en los rellenos sanitarios, desprenden gases tóxicos como hidrocarburos ligeros (HCB), metano ( $\text{CH}_4$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), compuestos orgánicos volátiles (COV's), monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), dioxinas, furanos, óxidos metálicos y finalmente las cenizas, estas en su mayoría son metales pesados, que pueden entrar al suelo y al agua freática por percolación y lixiviación [7]. La causa de esto son los residuos orgánicos presentes, que mediante su descomposición natural a través de bacterias y otros microorganismos conducen a un problema ecológico [7,8]. Estos gases al no ser controlados son mucho más

nocivos por las reacciones ocasionadas en las primeras capas de la atmósfera, el  $\text{CH}_4$  es un gas de efecto invernadero, que tiene un GWP (Global Warming Power) 32 veces superior al del  $\text{CO}_2$  y es persistente en la atmósfera, ya que no se elimina como el  $\text{CO}_2$  en la fotosíntesis de las plantas [9]. Los residuos a cielo abierto también causan problemas de salinización al suelo, en primer instancia por el vertido de lixiviados, el cual tiende a ser alcalino en su formación, concentración anormal elevada de sales principalmente en los periodos de sequía, por ejemplo el sodio y otras sales contenidas en residuos se depositan por la evaporación de la humedad de los residuos sobre el suelo y el subsuelo, lo que conduce a la muerte de las plantas y a la pérdida de estructura del suelo por el transporte de las sales a áreas aledañas [3].

Los suelos también son contaminados por isótopos radiactivos y residuos

peligrosos procedentes de materiales caseros e industriales [10]. Los suelos pueden volverse ácidos en diferentes épocas del año debido a la degradación anaeróbica de los lixiviados y de la materia orgánica pues se forma una gran cantidad de ácidos. Durante las quemas los  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , en presencia de humedad pueden formar ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), afectando ecosistemas terrestres y acuáticos aledaños al vertedero. Dichos gases se forman al no llevarse a cabo una combustión ideal (combustión con exceso de aire a partir del cálculo estequiométrico) [3, 7].

La lluvia ácida presente en el área de impacto puede presentar un pH inferior a 5 [7]. Esta lluvia ácida en los alrededores de los vertederos altera las relaciones ácido-base en algunos suelos, provoca la muerte de los peces en cuerpos de agua aledaños y los invertebrados acuáticos y se incrementa la acidez del suelo, lo que

reduce el crecimiento de vegetación en ecosistemas aledaños. De esta manera las lluvias provocan la pérdida de materia orgánica por la erosión y a la acción de los lixiviados, y la pérdida de estructura del suelo puede deberse a la pérdida de materia orgánica, a la compactación producida por la maquinaria en secciones húmedas, y a la dispersión de los materiales contaminantes en el subsuelo. Este proceso reduce la infiltración del agua e inhibe la germinación de las semillas o crecimiento de plantas en las zonas aledañas a los depósitos de residuos [11, 12,13].

Por lo anterior, se realizó un diagnóstico básico de los RSU y contaminantes en el sitio de disposición final del municipio de Tenosique, Tabasco, así mismo se cuantificaron los residuos de la ciudad, determinando la composición de los subproductos, composición elemental de los residuos y evaluando el impacto que

ocasiona la disposición inadecuada de los RSU.

## **METODOLOGÍA**

Para el estudio de generación se realizó en el sitio de disposición el método de conteo de carga, en un área de 36 m<sup>2</sup>, a 50 m del frente de trabajo durante 7 días, conociendo la capacidad de la unidad recolectora y la población servida [2, 3, 14], del mismo modo se determinó el peso volumétrico [15, 16, 17] y se realizó la cuantificación de productos y subproductos [18], estas variables se determinaron una vez cada semestre, para el año 2016. Al realizarse la topografía del área se identificó el escurrimiento superficial, y se establecieron seis muestras de suelo (0-50 cm) y 10 de agua-lixiviados en

piezómetros (1.5-2.5 m) (**Figura 1**), todos los procedimientos son métodos normados [19, 20]. Se determinaron los componentes elementales del RSU como carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S), cenizas (Cs) y humedad (Hu) por normas técnicas mexicanas para residuos [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28], determinándose el contenido energético de los RSU mediante la ecuación de Dulong modificada [29]. También se determinaron metales como cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb) y cromo (Cr) en matrices agua y suelo [30], a partir de la formación de lixiviados [11]. Finalmente, se modeló la distribución de contaminantes en el sitio, con Surfer 8.0 obteniendo mapas de isoconcentración del área afectada.

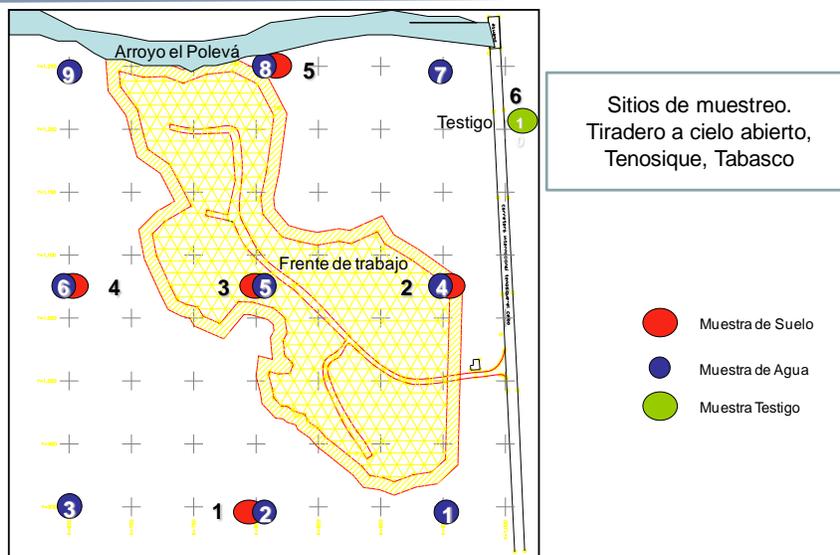


Figura 1. Sitio de muestreo en el vertedero y frente de trabajo.

## RESULTADOS

En el vertedero de Tenosique los RSU dispone de un área de 122,500 m<sup>2</sup>, con un tirante de 2 m, este no varía con respecto a años anteriores debido a que cada año el material acumulado es reducido por quema a cielo abierto, el frente de trabajo es de 38,463.9 m<sup>2</sup>. El resultado de la caracterización de los RSU para cada semestre del año 2015 presentó una generación de 63 ± 9 Ton día<sup>-1</sup>, por una población de 34,488 habitantes, resultando una generación

percápita de 1.82 Kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Por ello Tenosique queda clasificado como Generador Tipo 2, generando entre 1 y 2 Kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> [3], con un peso volumétrico PV de 245 ± 15 kg m<sup>-3</sup>, muy similar al medido en Centro, Tabasco [31]. Estos RSU varían con lo que llega al sitio de disposición final, pues en ocasiones sólo se depositan 54 ton/día, quedando la diferencia en quema de traspatio, tiraderos clandestinos o cuerpos de agua. En cuanto a los

productos identificados en la generación de la materia orgánica, el papel y los plásticos son los que tienen mayor porcentaje de composición (ver **Tabla 1**).

**Tabla 1.** Composición promedio con desviación y estándar de los RSU en el sitio de la disposición final (N=14).

Subproductos	M	DE
Plásticos	10.6	2.9
Papel	17.6	16.2
Polietileno	7.2	3.8
Cartón plastificado-Tetra Pak	0.8	1.1
Materia orgánica	47.9	24.9
Vidrio	3.4	1.6
Residuos finos	2.5	1.1
Textiles	2.4	2.0
Aluminio	5.8	5.8
Poliestireno	0.7	0.4
Cartón	0.5	0.8
Hierro	0.6	0.9

Nota. Plásticos: Polietileno de Alta Densidad (PEAD), Polietileno de baja densidad (PEBD), Politereftalato de etileno (PET).

De las 63 Ton/día que en promedio son dispuestos en el vertedero a cielo abierto en el Municipio de Tenosique, se podrían recuperar hasta 30,381.8 Kg día<sup>-1</sup> de residuos. Los productos y subproductos que son recuperados y aprovechados por los pepenadores se muestran en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Media y desviación estándar de porcentaje de materiales recuperados en el sitio de disposición final en kg/día. (N=14)

Variable	Plásticos	Papel	Polietileno	Vidrio	Aluminio	Cartón	Hierro
M	6681.2	11081.7	4536.0	2157.8	1540.4	3660.3	343.4
DE	1822.0	10192.5	2414.5	1020.1	1251.8	3652.9	485.6

La composición elemental de RSU, presente en la **Tabla 3**, mostró que el contenido de carbono es el de mayor composición y el contenido energético que podría ser aprovechado se estima

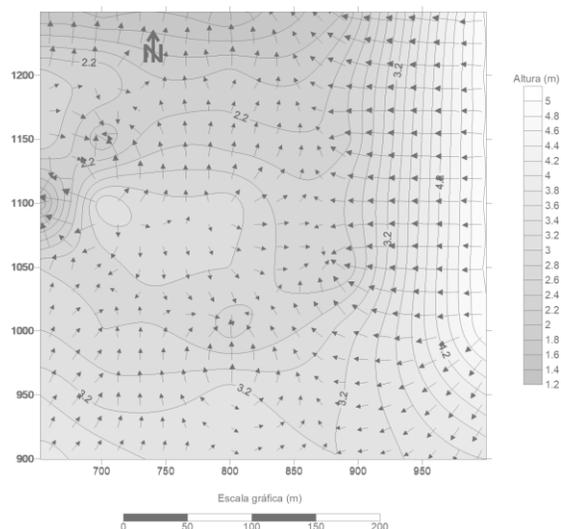
en  $6793.5 \pm 376.40$  Btu Lb<sup>-1</sup>, estos valores son similares a los que se determinaron en Villahermosa, Centro, Tabasco [31]

**Tabla 3.** Media y desviación estándar de la composición elemental (%) de los RSU (N=14).

Variable	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
<i>M</i>	42.3	5.5	35.0	0.4	0.0	11.2	5.7
<i>DE</i>	2.6	0.6	8.7	0.4	0.0	6.0	3.4

La producción de lixiviados se estimó en 288 mm año<sup>-1</sup> y considerando la cantidad máxima de RSU de 72 Ton año<sup>-1</sup>, esta cantidad de material agrega una humedad de 17,500 kg día<sup>-1</sup> de agua la cual empieza a fluir a 1.04 años. En este sentido el caudal de lixiviados aportados al subsuelo y al arroyo Plevá es del

orden de 35,310 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo, si no se practicara la quema de RSU, la cantidad de lixiviados aportados solo por la humedad de los RSU sería de 6,388 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> y 42,283 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> de RSU compactados. En la **Figura 2** se presenta el mapa de escurrimiento superficial de los lixiviados y precipitaciones sobre el terreno del vertedero.



**Figura 2.** Mapa de escurrimiento superficial en el vertedero.

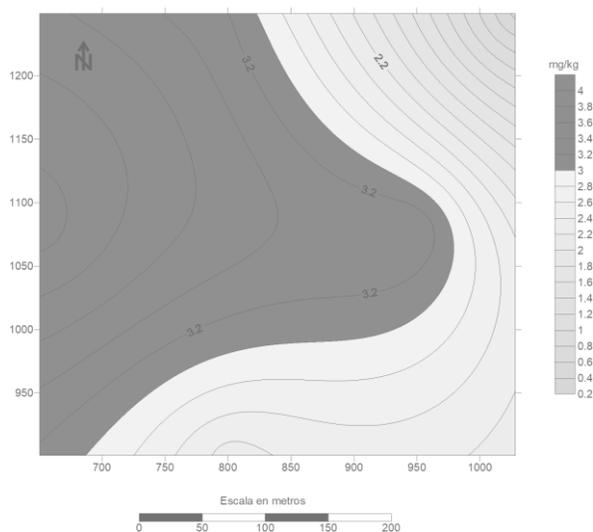
En la caracterización fisicoquímica se observa que en general el agua freática con lixiviado presenta una relación DBO/DQO de 0.46 en promedio lo que hace ver que tiene características de difícil degradación a tóxicas [32]. En general debido a la cercanía del vertedero con el Arroyo Plevá, observamos que hay una fuerte dilución de las sustancias y las concentraciones son mucho más altas que las reportadas para aguas freáticas, lixiviados y suelo [20, 33], las concentraciones suelo y

agua freática promedio con desviación estándar se presentan en la **Tabla 4**.

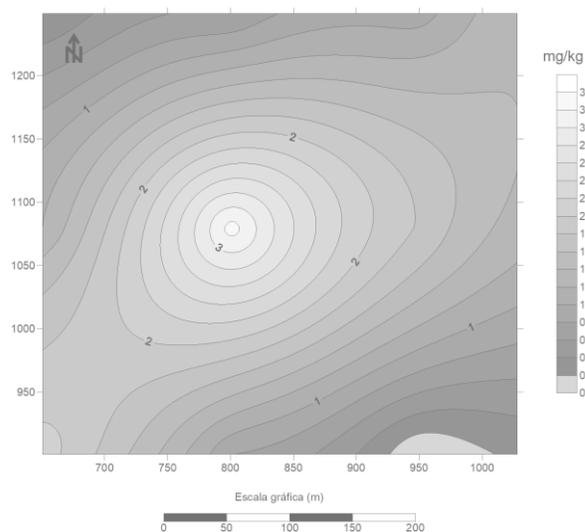
Del mismo modo en la **Figura 3** y **4** se presenta el Cadmio en suelo y agua freática, en las **Figuras 5** y **6** se presentan los mapas de isoconcentración de Níquel en suelo y agua freática, la **Figura 7** y **8** presentan la distribución de plomo en suelo y agua freática, la **Figura 9** la distribución del Cromo y la **Figura 10** la distribución de toxicidad en el agua freática.

**Tabla 4.** Media y desviación estándar en agua (N=10) y suelo(N=6)

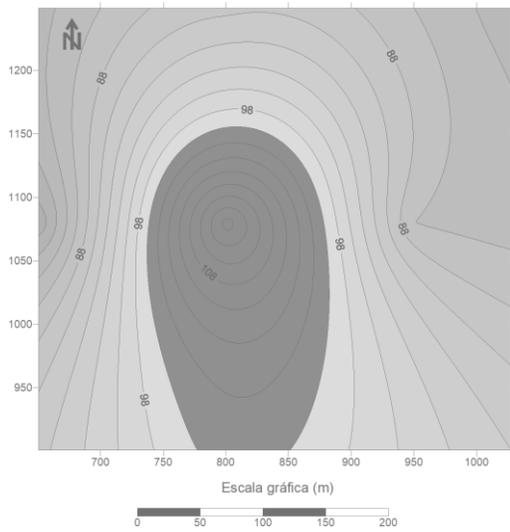
Parámetro	Agua-Lixiviado		Suelo	
	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>
Cd	1.2	1.0	2.8	1.3
Cr <sup>+6</sup>	6.8	7.0		
Ni	48.1	26.8	92.2	13.5
Pb	0.5	0.3	128.6	67.1
DBO/DQO	0.5	0.4		



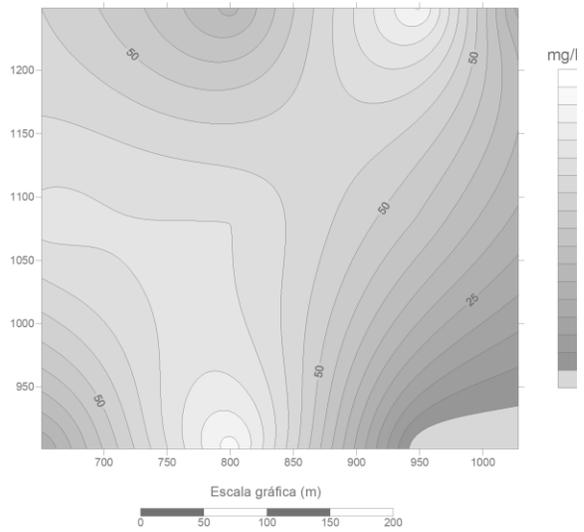
**Figura 3.-** Concentración de Cadmio en el suelo, a partir de 3 mg kg<sup>-1</sup> se considera peligroso (NOM-021-SEMARNAT-2000).



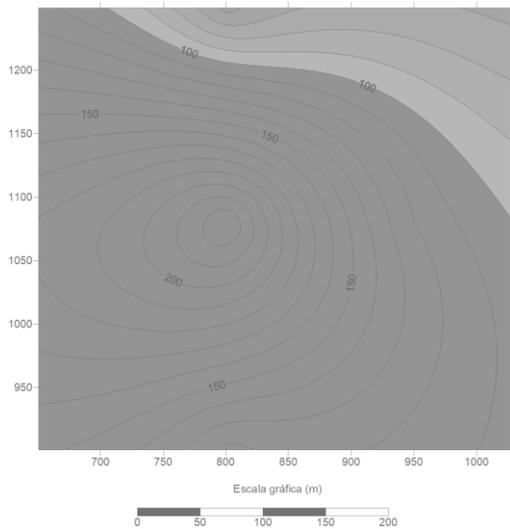
**Figura 4.** La concentración de referencia soluble es de 0.1 mg kg<sup>-1</sup> (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004)



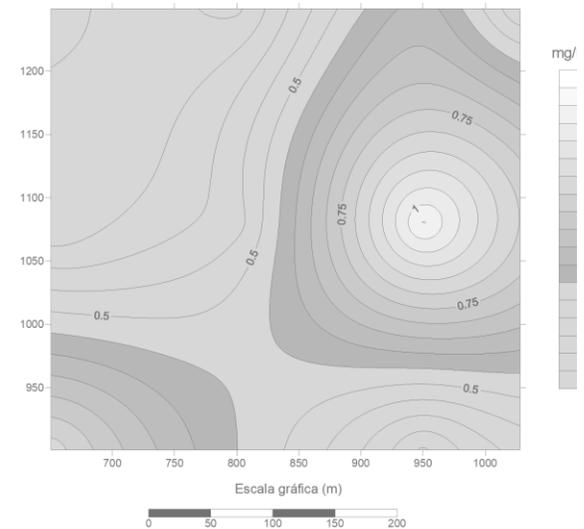
**Figura 5.-** Concentración de Níquel en el suelo, a partir de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  se considera peligroso (NOM-021-SEMARNAT-2000).



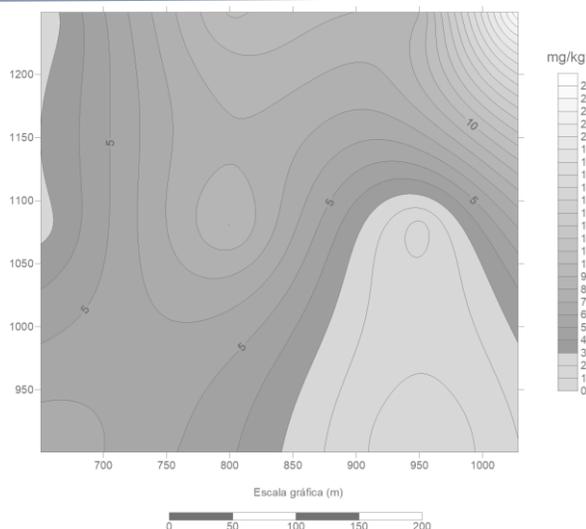
**Figura 6.** La concentración de referencia soluble de Níquel es de  $1.1 \text{ mg kg}^{-1}$  (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).



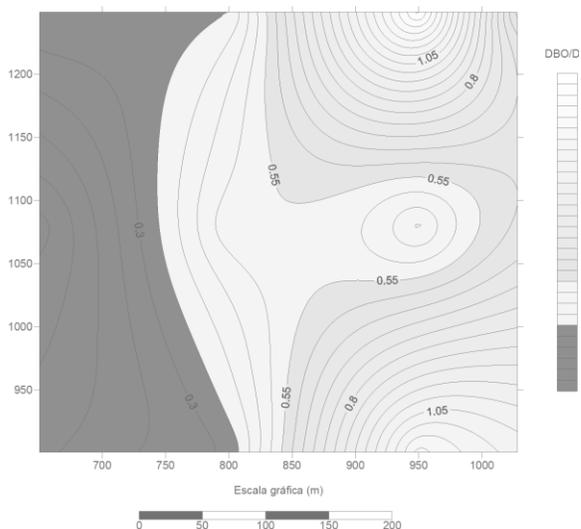
**Figura 7.-** Concentración de Plomo en el suelo, a partir de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  se considera peligroso (NOM-021-SEMARNAT-2000).



**Figura 8.** La concentración de referencia soluble de Plomo es de  $0.5 \text{ mg kg}^{-1}$  (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).



**Figura 9.-** La concentración de referencia soluble de Cromo es de  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).



**Figura 10.** Este grafico muestra que el área con valores de 0-0.3 el área es tóxica, de 0.3 – 0.5 el área es de difícil degradación y mayor a 0.5 es de fácil degradación

## DISCUSIÓN

Los estudios de generación y cuantificación de subproductos de RSU, proporcionan la base en la toma de decisiones de los municipios. En Berriozábal, Chiapas, se determinó que la generación per cápita de RSU es de  $0.62 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , donde la fracción doméstica equivale a  $0.46 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  y la no doméstica a  $0.16 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Respecto a la composición, se encontró que la fracción orgánica es de 54.88 %,

los plásticos 11.70 %, además de papel y cartón 6.87 %. Poco más de 78 % podría ser considerado como susceptible de recuperación [34]. En el caso particular de este estudio la generación per cápita en la ciudad de Tenosique, Tabasco, se estimó en  $1.82 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , los subproductos con mayor porcentaje fueron latería orgánica (47.9 %), el papel (17.6 %) y los plásticos (10.6 %), sin embargo, lo que se recupera directamente en el sitio de disposición

final es un 48.22 %. Cabe mencionar que, si comparamos la generación per cápita de este estudio con años anteriores reportados por el municipio, nuestros resultados son menores [3]. En cuanto al promedio nacional para el año 2012 se estimó que la generación per cápita fue de 0.85 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, los residuos presentan un PV de 153.12 kg m<sup>-3</sup>, los susceptibles de aprovechamiento son 39.57 %, los orgánicos con un 37.97 % y otros 22.46 % [35] La operación de un sitio de disposición final como la disposición y la quema a cielo abierto de los residuos, aunado a la poca profundidad del acuífero, hacen vulnerables a padecer procesos de contaminación tanto al suelo como al agua subterránea, los resultados en una modelación geoquímica sugieren como procesos importantes la evaporación de agua incrementa la concentración de contaminantes en el área y agua subterránea, el intercambio catiónico que

interviene en la captación de cationes como metales pesados y adsorción de metales [36]. En el caso del modelado de nuestra área de estudio muestra que el escurrimiento superficial es acumulado en áreas centrales, al oeste y norte donde se encuentra el arroyo el Plevá.

## CONCLUSIÓN

En el periodo analizado Tenosique generó 63 Ton día<sup>-1</sup> de RSU, con una tasa per cápita de 1.82 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, del cual se recupera u aprovecha en el sitio de disposición final 48.22 %. La materia orgánica presenta la mayor generación con el 47.9 %. El vertedero comprende una extensión de 122,500 m<sup>2</sup>, presenta retención y acumulación en altas concentraciones de los metales como Cd, Ni, Cr y Pb lo que implica la implementación de saneado del área mediante alguna tecnología de remediación. La simulación de metales,

indican que el desplazamiento es al norte afectando un área de 50, 000 m<sup>2</sup>.

## REFERENCIAS

- [1] Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003. DOF 19-01-2018.
- [2] López-Ocaña G, Hernández-Barajas J.R., Chacón-Nava J.G., Bautista-Margulis R.G. (2008). La Generación de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio del Centro, Tabasco. Revista Kuxulkab'. Volumen 14, Número 26, Páginas 56-64.
- [3] López-Ocaña G. Combustión de materiales lignocelulósicos derivados de RSU. Combustión experimental en un reactor de lecho fluidizado. Editorial Académica Española. SBN-13: 978-3-8417-6512-3, ISBN-10: 3841765122, EAN: 9783841765123. 133 páginas. Sitio Web: <https://www.eae-publishing.com/>
- [4] Hayrullah-Akyildiz M, Hasan-Arman (2013). Determination of Optimum 4Clay Thickness for Minimizing Leachate Permeability of a Waste Disposal Dumping Site in Turkey. Arab J Sci Eng (2014) 39:1637–1646. DOI 10.1007/s13369-013-0797-5.
- [5] Secretaria de desarrollo social (SEDESOL) (2012). Rellenos sanitarios por entidad federativa, 2011. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012. [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap7\\_residuos.pdf](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf). Fecha de consulta 2 de agosto de 2018.
- [6] Gómez-Puentes FJ, Reyes-López J.A., Dina L-López D. y Belmonte-Jiménez S. (2012). Modelación geoquímica del agua subterránea en un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos. Rev. Int. Contam. Ambie. 28 Sup. (1) 125-131, 2012
- [7] Atencio-Pérez RM, Reyes-López JM y Guevara-García JA. (2013). Evaluación de Riesgo Ambiental en un vertedero con quema de basura. Rev. Int. Contam. Ambie. 29 (Sup. 3) 107-117.
- [8] Cárdenas-Moreno P.R., Robles-Martínez F., Colomer-Mendoza F.J. y Piña-Guzmán A.B. (2016). Herramientas para la evaluación de riesgos sobre el ambiente y salud, por la disposición final de residuos sólidos urbanos. Rev. Int. Contam. Ambie. 32 (Especial Residuos Sólidos) 47-62, 2016 DOI: 10.20937/RICA.2016.32.05.04
- [9] EPA EE.UU., 2012. Emisiones antropógenas mundiales de gases de efecto invernadero distintos del CO<sub>2</sub>: 1990–2030 (EPA 430-R-12-006), <http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/nonco2projections.html>.

- [10] Moreno-Tovar R., Téllez-Hernández J. y Monroy-Fernández M.G. 2012. Influencia de los minerales de los jales en la bioaccesibilidad de arsénico, plomo, zinc y cadmio en el distrito minero Zimapán, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 (3) 203-218.
- [11] Glynn HJ, Heinke GW. 1999. *Ingeniería Ambiental*. Prentice Hall Hispanoamericana. S. A. Segunda Edición. Méx. D. F. págs. 567-620.
- [12] Potash & Phosphate Institute. 1997. *Manual Internacional de Fertilidad del Suelo*. México D.F. Research PPI Education.
- [13] Siebe, C., Jahn, R. y Stahr K. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Instituto de Geología de la UNAM, Institut für Bodenkunde und Standortslehre. Universität Hohenheim, Alemania. Sociedad Mexicana de Ciencias del suelo. Chapingo, México.
- [14] NMX-AA-061-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación. 06-11-1992
- [15] NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo. 06-11-1992
- [16] NMX-AA-052-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Preparación de Muestras en el Laboratorio para su Análisis. 06-11-1992.
- [17] NMX-AA-019-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales-Peso Volumétrico "IN SITU". 06-11-1992
- [18] NMX-AA-022-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos. 06-11-1992
- [19] NMX-AA-3-1980. Norma Mexicana "Aguas Residuales.- Muestreo", 06-11-1992
- [20] NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. 31-12-2002.
- [21] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana NMX-AA-021-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-Determinación de Materia Orgánica. 6-11-1992
- [22] Secretaria de comercio y fomento industrial. Norma Mexicana.NMX-AA-068-1986. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de hidrogeno a partir de materia orgánica. 6-11-1992
- [23] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma

- Mexicana NMX-AA-080-1986. Contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica. 6-11-1992
- [24] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana NMX-AA -24-1984. Protección al ambiente - contaminación del suelo-residuos sólidos municipales - determinación de nitrógeno total. 6-11-1992
- [25] Secretaria de Comercio y Fomento industrial. Norma Mexicana NMX-AA-92-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de azufre. 6-11-1992
- [26] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana NMX-AA -16-1984. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de humedad. 6-11-1992.
- [27] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana NMX-AA -18-1984. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos -determinación de cenizas. 6-11-1992.
- [28] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana. NMX-AA-033-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de poder calorífico superior. 6-11-1992
- [29] Tchobanoglous G., Theisein H., Vigil S. A. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Ed. McGraw-Hill. México D. F.
- [30] Gómez-Puentes F.J. (2010). Evaluación de metales pesados en suelo y agua subterránea en un tiradero a cielo abierto en el Valle de Mexicali, B. C. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México. 132 p.
- [31] López-Ocaña G., Hernández-Barajas, J.R., Bautista-Margulis R.G., Saucedo-Terán R & Rubio-Arias H. (2008). Combustión de residuos sólidos municipales en un sistema de lecho fluidizado experimental. Universidad y Ciencia, ISSN 0186-2979, Vol. 24, N°. 2, 2008, págs. 89-100.
- [32] Crites R., Tchobanoglous G. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. McGraw-Hill. Colombia. p 1043.
- [33] Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

- [34] Araiza-Aguilar J.A., Chávez-Moreno J.C. y Moreno-Pérez J.A. 2017. Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, México. *Rev. Internacional Contaminación Ambiental*. 33 (4) 691-699, 2017 DOI: 10.20937/RICA.2017.33.04.12
- [35] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- [36] Gómez-Puentes F.J., Reyes-López J.A., L-López D. y Belmonte-Jiménez S. 2012. Modelación geoquímica del agua subterránea en un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 Sup. (1) 125-131, 2012.