

## INVENTARIO DE RESIDUOS PELIGROSOS INDUSTRIALES EN 17 MUNICIPIOS DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

René Bernardo Elías CABRERA CRUZ, Alberto José GORDILLO MARTÍNEZ, Álvaro CERÓN BELTRÁN

Centro de Investigaciones Químicas, CIQ, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, UAEH, Carr. Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Ciudad Universitaria C. P. 42076, Pachuca, Hidalgo, México, correo electrónico rcabreracruz@prodigy.net.mx, gordillo@uaeh.reduaeh.mx

*(Recibido febrero 2003, aceptado noviembre 2003)*

Palabras clave: residuos peligrosos, evaluación de impacto ambiental

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consistió en la realización de un inventario de residuos peligrosos en 17 municipios del estado de Hidalgo, México. Los resultados obtenidos son los primeros en su tipo y cumplen con el propósito fundamental de complementar y precisar la información sobre este tema; además, permitirán la formulación de acciones tales como programas de control y monitoreo de emisiones de residuos peligrosos, transporte adecuado, tratamiento y disposición final, tendientes a la mejora de la situación del ambiente en Hidalgo. La zona de estudio corresponde al 12.5% de la superficie total del estado y al 40.5% de su población; además concentra a todos los parques industriales y a las industrias más representativas de esta entidad. La metodología utilizada fue la Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental. El estudio permitió identificar a las fuentes emisoras de residuos peligrosos y determinar sus clases, tipos y cantidades.

Key words: hazardous wastes, environmental impact assessment

### ABSTRACT

An inventory of hazardous wastes for 17 municipalities in Hidalgo, México is reported in this paper. The results obtained are the first on this subject and will allow the formulation of specific programs of monitoring of emissions, appropriate transport, treatment and final disposal of hazardous wastes. The studied zone corresponds to 12.5% of the Hidalgo's state total area and 40.5% of its population. This area concentrates all the state's industrial zones and most representative industries. The methodology used was the Environmental Pollution Sources Fast Evaluation. The study allowed identification and measure of hazardous wastes emission sources.

### INTRODUCCIÓN

La incorporación de la problemática ambiental al desarrollo económico, al igual que la inclusión de otras metas sociales, plantea problemas importantes que deben ser tomados en cuenta en la planificación y la formulación de políticas de desarrollo económico. En la medida en que los objetivos ambientales apoyen o refuercen el

crecimiento económico, la planeación ambiental irá asumiendo creciente importancia (Beanlands 1986). Dentro de las principales preocupaciones de la planeación ambiental se encuentra la referente a los residuos peligrosos, principalmente los de origen industrial. Esto se debe a sus efectos adversos de contaminación del ambiente y su afectación de la salud pública. La sostenibilidad del crecimiento industrial demanda que

se respeten las capacidades para transformar y asimilar residuos de los sistemas atmosféricos, hidrológicos y de suelo. En México la gestión de los residuos peligrosos además de considerar el problema en su marco normativo (DOF 1996, INE 1993a-1993g) incluye la elaboración de acciones tales como la formulación del Programa para la Minimización y Manejo de Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000 (SEMARNAP 1996). El programa presentó como propósito fundamental lograr un control y un manejo integral y adecuado de los residuos peligrosos generados en el país. Para esto es necesario compatibilizar las estrategias de regulación y gestión en materia de residuos peligrosos industriales con criterios de eficiencia y competitividad industrial.

El programa parte de un análisis del sector industrial en México, en el que se resalta el dinamismo del sector manufacturero. Como etapa inicial del diagnóstico de la situación de los residuos peligrosos se encuentra la realización de inventarios de generación de residuos. Lo anterior es de vital importancia para conocer que tipos y cuantas fuentes de emisión se tienen, la cantidad de residuos peligrosos producidos y su ubicación. Esta información permite decidir que tipo de manejo resulta el más adecuado. Como resultado se estimó que en México se generan aproximadamente ocho millones de toneladas anuales de residuos peligrosos industriales (sin tomar en cuenta jales mineros). El 45% de estos residuos corresponde a grasas, aceites y disolventes, el 10% a resinas, ácidos y bases, el 8% a desechos de pinturas y barnices y el resto a otros tipos de residuos peligrosos. Por su volumen de generación destacan la industria química con 40%, el ramo metal-mecánico y metálico-básico con 10% cada uno y la industria eléctrica con 8% del total. Sin embargo, se considera que el trabajo de validación en campo de estos resultados es limitado y que se requiere de estudios complementarios. Estos últimos deben contar con una amplia cobertura sectorial-regional que examine las características propias de cada zona del país en lo que se refiere al grado de desarrollo industrial. Es recomendable que dichos estudios utilicen factores de generación de residuos que no se encuentren basados en estimaciones de otros países, que se aplican en su mayor parte de acuerdo al número de empleados por empresa. Los factores a utilizar deben ser acordes a las condiciones tecnológicas específicas de la industria mexicana. El programa de residuos peligrosos reporta para el estado de Hidalgo una generación estimada de 135,000 ton/año de residuos peligrosos industriales, lo que representa el 1.68% del total. Para conocer con más detalle el estado del manejo y disposición de los residuos peligrosos, se propuso realizar un estudio que generara información más específica sobre el manejo y disposición de los residuos peligrosos en el estado de Hidalgo.

El estado de Hidalgo cuenta en total con 84 municipios y una superficie de 20,905.12 km<sup>2</sup>. Se encuentra ubicado en la parte central de la República Mexicana, al oeste de la Sierra Madre Oriental, al noroeste de la Altiplanicie Meridional y en el sur de la Planicie Costera Nororiental. Se localiza entre los paralelos 19°36'30" y 21°23'30" de latitud norte y entre los meridianos 97°58'45" y 99°53'30" de longitud oeste. Limita al norte con los estados de Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz y con el Estado de México; al sur con Puebla, Tlaxcala y Estado de México; al oeste con el Estado de México y Querétaro y al este con Veracruz y Puebla (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 1999). La economía en el estado está basada en gran medida en la agricultura; entre los productos agrícolas más importantes se tiene al maíz, a la cebada y al café. Los municipios más productivos son Tula, Actopan, Ixmiquilpan, Huichapan, Tulancingo y Metztitlán. La minería es otra actividad que históricamente ha tenido gran importancia, ya que la extracción y beneficio de la plata fue la principal actividad de la entidad hasta el siglo XIX. Actualmente son importantes los beneficios de manganeso en el municipio de Molango y de cobre, plomo y zinc en el municipio de Zimapán. La presencia industrial se vió diversificada con la instalación de plantas cementeras en Tula y plantas textileras en Santiago Tulantepec y Tulancingo a finales del siglo XIX. A partir de 1960 se desarrollan diversas zonas industriales en el estado como son las establecidas en Tizayuca, Tula, Pachuca, Tulancingo y Ciudad Sahagún. Tales zonas tenían el fin de reactivar la economía estatal, pues las actividades tradicionales se encontraban en decadencia. Estos parques industriales se mantienen hasta la fecha siendo los únicos existentes en el estado (INEGI 1995a). En la actualidad diversas industrias continúan instalándose en ellos como resultado de la promoción de la inversión privada en el estado por parte del gobierno. Este hecho, junto con el desarrollo de importantes proyectos para construir infraestructura de transporte terrestre y aéreo, coloca al estado de Hidalgo con una importancia creciente dentro del contexto económico nacional.

El presente trabajo ha tenido como propósito realizar un inventario de residuos peligrosos emitidos por fuentes industriales en los municipios en donde se encuentran las industrias más representativas de la entidad y todos los parques industriales (INEGI 1995a). Con los resultados obtenidos se determinó el número de fuentes emisoras, clases, tipos y las cantidades de residuos peligrosos. De esta manera se podrán formular acciones tendientes a la mejora de la situación de los residuos peligrosos en Hidalgo. Dentro de estas acciones están la formulación de programas de monitoreo, de control, disposición y eliminación de residuos, la selección de áreas prioritarias, etcétera.

## METODOLOGÍA

La metodología empleada es la técnica Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental, ERFCA, (Weitzenfeld 1989). Esta técnica permite la realización de inventarios de fuentes contaminantes de manera rápida y a bajo costo. Además produce resultados confiables debido a que utiliza factores de generación basados en los datos de producción de las diferentes fuentes. Estos factores se recopilaron de la literatura técnica disponible (USEPA 1973, 1977, Schimmel y Griffen 1976, Sitting 1975, WHO 1971, 1977, 1982, 1983) y si bien provienen de literatura de países económicamente desarrollados, se trabajó en ellos junto con toda la técnica ERFCA, para que resultaran adecuados en su aplicación a países subdesarrollados y en vías de desarrollo como es el caso de México. Lo anterior es la razón para aplicar dicha metodología en este trabajo. La técnica utiliza datos disponibles del sector público, social y privado para destacar fuentes importantes de generación que tienen un impacto significativo en el ambiente. Esta técnica no considera fuentes emisoras de la agricultura y la minería.

Para su desarrollo, la técnica ERFCA comprendió los siguientes pasos:

**I. Definición del área de estudio.** Se eligieron fronteras socioeconómicas, seleccionando las regiones del estado en donde se encuentran los parques industriales y las industrias más importantes del estado. En estas regiones se seleccionaron los municipios con más presencia industrial. El área de estudio se conformó finalmente por 17 municipios de 6 regiones socioeconómicas (**Tabla I**), que corresponden al 12.54% de la superficie total del estado y al 40.5% de la población total (INEGI 1999).

**II. Conformación del grupo de trabajo.** Se integró por profesionales capacitados en la técnica ERFCA y con experiencia en investigación ambiental.

### III. Recolección de datos.

a. Elaboración de una lista de fuentes de información. Inicialmente consideró a dependencias federales, estatales y municipales, y posteriormente a organismos privados como las son asociaciones industriales (COPARMEX 1997, CANACINTRA 1997) y por último a fuentes de información general.

b. Análisis de la información y elaboración de una lista de empresas a ser estudiadas.

c. Clasificación de las empresas de acuerdo al código CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-infeccioso). Este código es el criterio que se sigue en México para definir e identificar a los residuos peligrosos (INE 1993a). Con esta clasificación se determinó cuáles empresas generan residuos peligrosos de acuerdo a sus características CRETIB, al tipo de residuo emitido y al proceso industrial utilizado.

**TABLA I.** ÁREA DE ESTUDIO

Región	Clave	Nombre del municipio
I	048	Pachuca de Soto
I	051	Mineral de la Reforma
II	077	Tulancingo de Bravo
II	016	Cuautepec de Hinojosa
II	056	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero
III	063	Tepeji del Río
III	076	Tula de Allende
III	070	Tlahuelilpan
III	074	Tlaxcoapan
III	010	Atitalaquia
VII	003	Actopan
VII	041	Mixquiahuala de Juárez
VII	050	Progreso de Obregón
XI	061	Tepeapulco
XI	008	Apan
XII	069	Tizayuca
XII	066	Villa de Tezontepec

Fuente: INEGI 1999

d. Ordenación de las empresas clasificadas en el código CRETIB de acuerdo a la clasificación de los protocolos de la técnica ERFCA (**Tabla II**) que se basan en las actividades de la industria manufacturera. Con este ordenamiento se pudieron realizar los cálculos para conocer las cantidades generadas de residuos peligrosos (sección IV).

e. Obtención de información con las empresas seleccionadas de acuerdo al código CRETIB y a la técnica ERFCA. Se determinó si las empresas se encontraban en funcionamiento, si el giro comercial coincidía con el reportado y cuál es su volumen de producción (en ton/año). Lo anterior se realizó de acuerdo a los principios de confidencialidad y reserva estadística (INEGI 1995b).

**TABLA II.** DIVISIONES DE LA ACTIVIDAD MANUFACTURERA

Clave	Título de la categoría
31	Manufactura de alimentos, bebidas y tabaco
32	Manufactura de textiles, artículos de vestir e industria del cuero
33	Manufactura de madera, productos de madera, incluyendo muebles
34	Manufactura de papel, productos de papel, imprenta y publicaciones
35	Manufactura de productos químicos, petróleo, carbón, caucho y productos plásticos
36	Manufactura de productos minerales no metálicos, excepto derivados del petróleo y carbón
37	Industria metálica básica
38	Manufactura de productos fabricados de metal, maquinaria y equipo
39	Otras industrias manufactureras

**IV. Cálculos.** En este apartado se aplicaron los factores de generación contenidos en los cuadernos de trabajo de los protocolos de la técnica ERFCA, agrupados de acuerdo a la **tabla II**. Se multiplicó el valor de la producción de cada una de las empresas consideradas en el estudio por los factores correspondientes. De la operación anterior se obtienen las cantidades de residuos peligrosos generadas por las empresas (en ton/año). También se reportan aguas de desecho de la industria metalmeccánica (en m<sup>3</sup>/año) y aceites lubricantes gastados (en L/año).

**V. Organización de resultados.** Los resultados obtenidos se agruparon en tablas de acuerdo a las características CRETIB, a los tipos y a las cantidades de residuos generados. Con esto se logra una mejor visualización de la situación de los residuos peligrosos en el área estudiada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el uso de la normatividad mexicana se pudieron determinar las fuentes generadoras de residuos peligrosos y los tipos de residuos emitidos. Además permitió conocer sus características CRETIB. Por su parte, la técnica ERFCA toma en cuenta en sus protocolos a una serie de factores de generación que permiten calcular las cantidades de residuos peligrosos de origen industrial. Los resultados obtenidos conforman una base de datos referente al número de fuentes emisoras de residuos peligrosos, a las clases de residuos de acuerdo a sus características CRETIB, a los tipos de residuos y a las cantidades generadas de éstos.

**TABLA III.** FUENTES EMISORAS DE RESIDUOS PELIGROSOS POR MUNICIPIO

Municipio	Número de FERP
048	65
051	14
077	84
016	0
056	5
063	24
076	7
070	3
074	7
010	8
003	3
041	2
050	1
061	14
008	4
069	55
066	5
Total	301

FERP = Fuente Emisora de Residuos Peligrosos

**TABLA IV.** FUENTES EMISORAS DE RESIDUOS PELIGROSOS POR SECTOR INDUSTRIAL MANUFACTURERO

Municipio	31	32	33	34	35	36	37	38	39	FERP
048	4	2	-	-	9	5	4	35	-	59
051	1	2	-	-	2	5	1	3	-	14
077	11	7	-	-	4	18	-	43	-	83
016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
056	-	2	-	-	-	2	-	1	-	5
063	-	8	-	-	5	4	1	3	-	21
076	-	-	-	-	-	3	-	2	1	6
070	2	-	-	-	-	-	-	1	-	3
074	2	-	-	-	2	-	-	2	1	7
010	1	-	-	-	5	-	-	-	-	6
003	-	1	-	-	2	-	-	-	-	3
041	1	-	-	-	-	1	-	-	-	2
050	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
061	-	-	-	-	2	-	2	9	-	13
008	-	-	-	-	3	-	-	1	-	4
069	-	3	-	-	20	7	13	11	-	54
066	-	-	-	-	-	-	1	4	-	5
Total	23	25	0	0	54	45	22	115	2	286

FERP = Fuente Emisora de Residuos Peligrosos

### Fuentes emisoras

Los resultados se observan en la **tabla III**, en donde se muestra el número de fuentes que generan residuos peligrosos en cada uno de los municipios que integran el área de estudio. Las fuentes se encuentran divididas en dos categorías principales como son las industriales y las plantas tratadoras de aguas residuales. En la **tabla IV** se presentan las fuentes emisoras provenientes de la industria de acuerdo a su sector manufacturero y al municipio en donde se encuentran asentadas. En la **tabla V** se observa la distribución de las plantas de tratamiento de agua (consideradas emisoras de residuos peligrosos por la legislación mexicana) y el volumen de efluentes residuales depurados. El total de fuentes emisoras es de 301, mientras que el número de fuentes emisoras industriales en-

**TABLA V.** PLANTAS TRATADORAS DE AGUAS DOMÉSTICAS RESIDUALES EMISORAS DE RESIDUOS PELIGROSOS

Municipio	No. plantas	Volumen tratado (m <sup>3</sup> /año)
010 <sup>1</sup>	2	17,377,912
016 <sup>2</sup>	1	157,565
048 <sup>2</sup>	5	472,696
061 <sup>1</sup>	1	315,360
063 <sup>1</sup>	3	461,687
069 <sup>1</sup>	1	63,072
076 <sup>1</sup>	1	9,460,800
077 <sup>1</sup>	1	63,072
Total	15	28,372,164

Fuente: <sup>1</sup> INEGI 1999, <sup>2</sup> CEA 1999

contrado es de 286 y las plantas de tratamiento localizadas son 15 (INEGI 1999, CEA 1999).

Los municipios en donde se hallaron un mayor número de fuentes emisoras son: Tulancingo con 84, Pachuca con 65, Tizayuca con 55 y Tepeji del Río con 24. En estos municipios se concentra el 72 % de las fuentes emisoras. Se observa que el ramo de manufactura de productos fabricados de metal también conocido como metalmecánico es el que aporta más fuentes de emisión de residuos peligrosos, con 115. El sector de manufactura de productos químicos, petróleo, carbón, caucho y productos plásticos aporta 54. El sector de manufactura de productos minerales no metálicos, excepto productos del petróleo y carbón proporciona 45 fuentes. Estos tres sectores aportan el 71 % de todas las fuentes emisoras. El sector metalmecánico representa el 38 % del total, aunque este tipo de fuentes no aporta una gran cantidad de residuos peligrosos. Esto es porque en su mayoría son talleres de fabricación de

piezas metálicas y su volumen de producción es bajo. Existe otro tipo de fuentes que aunque menos numerosas generan una gran cantidad de residuos peligrosos. Tal es el caso de las fuentes que pertenecen a los sectores químico y metálico básico. Es la razón para que no exista una relación entre el número de fuentes emisoras y la cantidad de residuos generados.

### Clases, tipos y cantidades de residuos peligrosos

Se encontraron 3 clases de residuos peligrosos de acuerdo a sus características CRETIB como son residuos tóxicos, residuos tóxico-inflamables y residuos tóxico-corrosivos. Dentro de estas categorías se encuentran clasificados 33 tipos diferentes de residuos. Lo anterior se observa en la **tabla VI** en donde se enlistan los tipos de residuos generados indicando sus características CRETIB. Cada uno de estos tipos se enumeró para hacer su manejo más fácil en la **tabla VII**, en donde se muestran las cantidades generadas de residuos

**TABLAVI.** TIPOS DE RESIDUOS PELIGROSOS ENCONTRADOS DE ACUERDO CON SUS CARACTERÍSTICAS CRETIB

No.	Características CRETIB y tipos de residuos peligrosos
1 (T)	Lodos provenientes de plantas tratamiento de aguas residuales domésticas
2 (T-C)	Soluciones gastadas y residuos provenientes del zincado
3 (T-C)	Soluciones gastadas y sedimentos de los baños de cianuros en las operaciones de galvanoplastia de Zn.
4 (T-C)	Soluciones gastadas de cianuro de los tanques de limpieza con sales en las operaciones de tratamiento en caliente de metales del zincado
5 (T)	Lodos del tratamiento de las aguas residuales provenientes del lavado de metales para remover soluciones concentradas del zincado
6 (T)	Lodos del separador API y cárcamos en la refinación del petróleo
7 (T)	Lodos sin tratar de los tanques de almacenamiento que contengan sustancias tóxicas que rebasen los límites permitidos por la NOM-052-ECOL-93 en la refinación de petróleo
8 (T)	Lodos del tratamiento biológico que contengan metales pesados o sustancias tóxicas que rebasen los límites permitidos por la NOM-052-ECOL-93 en la refinación del petróleo
9 (T-C)	Soluciones gastadas y residuos provenientes del cromado
10 (T-C)	Soluciones gastadas y sedimentos de los baños de cianuro en las operaciones de galvanoplastia de Cr
11 (T-C)	Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales en operaciones de cromado (metal)
12 (T)	Escorias provenientes del horno de fundición de Cu
13 (T)	Residuos del proceso de extrusión de tubería de Cu
14 (T)	Escorias provenientes del horno de fundición de acero y hierro gris
15 (T)	Lodos y polvos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos en la fundición de acero y hierro gris
16 (T-I)	Residuos de aceite gastado en las operaciones de fundición de acero y hierro gris
17 (T)	Agentes mordientes gastados, residuales en la industria del algodón
18 (T)	Lodos del tratamiento de aguas residuales en la industria del algodón
19 (T)	Agentes mordientes gastados, residuales en la industria de la lana
20 (T-C)	Residuos de detergentes, jabones y agentes dispersantes de la industria lanera
21 (T-C)	Residuos provenientes del blanqueado de la industria lanera
22 (T)	Tambos y contenedores con residuos de tintes y colorantes en la industria lanera
23 (T)	Residuos de adhesivos y polímeros de la industria lanera
24 (T)	Residuos de agentes enlazantes y de carbonización de la industria lanera
25 (T)	Lodos del sistema de tratamiento de agua residual de la industria lanera
26 (T)	Aceites gastados de corte y enfriamiento en las operaciones de talleres de maquinado en la industria metalmecánica
27 (T)	Lodos provenientes de la regeneración de aceites gastados de la industria metalmecánica
28 (T-C)	Lodos de la solución de cal del lavador de gases en la fundición y refinado de Al
29 (T)	Escorias del horno de fundición de chatarra de Al
30 (T)	Residuos de materiales de desecho provenientes de la manufactura de hule natural y sintético
31 (T)	Lodos de aguas residuales conteniendo Cr, Pb y fenoles en la industria de la curtiduría
32 (T-C)	Residuos de la curtiduría
33 (T)	Escorias provenientes del horno de Pb

T = Tóxico; T-C = Tóxico-Corrosivo; T-I = Tóxico-Inflamable

**TABLA VII.** EMISIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS POR MUNICIPIO

No. Residuo**	Cantidades de residuos peligrosos por municipio																Total (ton/año)		
	48	51	77	16	56	63	76	70	74	10	3	41	50	61	8	69		66	
1	491.962	*	65.587	163.987	*	480.095	9,837.984	*	*	18,071.040	*	*	*	327.933	*	65.587	*	29,504.175	
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.075	*	1.075
34	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.156	*	0.156
5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,056.000	*	1,056.000
68	*	*	*	*	*	*	*	*	19,689.909	*	*	*	*	*	*	*	*	19,689.909	
9-10	0.018	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.018	
11	6.000	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.000	
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,880.000	*	2,880.000	
13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	165.120	*	165.120	
14	4,332.000	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	19,764.750	*	2,551.100	51.120	26,698.970	
15	9,796.800	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	44,697.900	*	5,368.640	*	59,863.340	
16	3.000	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13.687	*	1.836	0.090	18.613	
17	*	*	0.287	*	*	0.023	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.310	
18	*	*	33.868	*	*	2.664	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	36.532	
19	*	*	1.540	*	0.391	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.931	
20-22	*	*	175.490	*	44.500	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	219.990	
23-24	*	*	266.740	*	67.640	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	334.380	
25	*	*	4,010.502	*	1,016.969	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5,027.471	
26	45.960	*	10.608	*	0.204	24.480	0.286	0.204	0.816	*	*	*	*	121.740	0.816	63.359	0.884	269.357	
27	7.698	*	1.779	*	0.034	4.104	0.048	0.034	0.137	*	*	*	*	20.409	0.137	10.621	0.148	45.149	
28	9.506	*	*	*	*	261.413	*	*	*	*	*	*	*	38.024	*	76.047	*	384.990	
29	168.000	*	*	*	*	4.62*	*	*	*	*	*	*	*	672.000	*	1,344.000	*	6,804.000	
30	13.530	*	6.600	*	*	21*	*	*	315.000	42*	*	*	*	*	*	*	*	965.130	
31	18.907	19.518	*	*	*	*	*	*	*	*	2.808	*	*	*	*	*	*	41.233	
32	9.804	10.123	*	*	*	*	*	*	*	*	1.456	*	*	*	*	*	*	21.383	
33	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,340.000	*	2,340.000	
Total(ton/año)	14,903.185	29.641	4,573.001	163.987	1,129.738	5,602.779	9,838.318	0.238	20,005.862	18,491.040	4.264	0.000	0.000	65,656.443	0.953	14,866.310	1,109.473	156,375.232	

\* 0.000

\*\* El tipo de residuo corresponde con el enumerado en la **tabla VI**

peligrosos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales (tipo 1) y de fuentes industriales (tipo 2-33). También se indica la cantidad de residuos emitidos en cada municipio de la zona de estudio. El total de residuos generados es de 156,375 ton/año. De estos, 29,504 ton/año corresponden a lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales municipales y 126,871 ton/año corresponden a diversos tipos de residuos generados en la industria. Algunos tipos de residuos por sus características fisicoquímicas se encuentran mezclados ya sea desde su origen o en las emisiones globales de la industria en cuestión. Estos tipos de residuos se consideran juntos por la técnica ERFCA y se reportan de esta manera. Tal es el caso de los tipos 3 y 4 provenientes de operaciones de galvanoplastia de zinc; de los tipos 6, 7 y 8 provenientes de la refinación de petróleo; de los tipos 9 y 10 provenientes de operaciones de galvanoplastia de cromo; de los tipos 20, 21 y 22 provenientes de las operaciones de lavado de la industria lanera y, finalmente, de los tipos 23 y 24 provenientes del tratamiento de tela en la industria lanera. En la **tabla VIII** se presentan los porcentajes de generación de residuos de acuerdo a los tipos encontrados. En esta tabla se aprecia que 9 de los 33 tipos encontrados contribuyen con 153,864 ton/año, lo que representa el 98 %

de la cantidad de emisiones de residuos peligrosos estimadas en este estudio. Además se encontraron 8,824,179 L/año de aceites lubricantes gastados provenientes de vehículos automotores impulsados por gasolina y diesel que se encuentran presentes en el área de estudio (**Tabla IX**). Estos aceites están considerados como residuos de naturaleza tóxico-inflamable. En la

**TABLA VIII.** CANTIDAD DE RESIDUOS PELIGROSOS EMITIDOS DE ACUERDO A SU TIPO (ton/año)

Tipo de residuo*	Cantidad (ton/año)	%
29	6,804.000	4.35
25	5,027.471	3.21
15	59,863.340	38.28
14	26,698.970	17.07
12	2,880.000	1.84
6-8	19,689.909	12.59
1	29,504.175	18.86
5	1,056.000	0.67
33	2,340.000	1.49
Otros	2,503.365	1.64
Total	156,375.232	100

\* El tipo de residuo corresponde con el enumerado en la **tabla VI**

**tabla X** se muestran las emisiones de aguas residuales generadas por la industria metalmeccánica en cada municipio de la zona de estudio con un total de 4,357,430 m<sup>3</sup>/año; estos residuos están clasificados por la normatividad como tóxicos.

**TABLA IX.** CANTIDAD DE ACEITES LUBRICANTES GASTADOS\*, EMITIDOS POR MUNICIPIO

Municipio	Cantidad (L/año)
048	2,713,363
051	120,508
077	1,186,508
016	265,472
056	124,820
063	473,284
076	905,010
070	115,348
074	172,844
010	145,192
003	425,872
041	183,932
050	154,872
061	502,944
008	225,749
069	1,038,860
066	69,601
Total	8,824,179

\* Nota: residuo tóxico-inflamable

Los municipios con una mayor generación de residuos peligrosos sólidos son: Tepeapulco, con 65,656.443 ton/año, Tlaxcoapan, con 20,005.862 ton/año, Atitalaquia con 18,491.040 ton/año, Pachuca con 14,903.185 ton/año, Tizayuca con 14,866.310 ton/año y Tula con 9,838.318 ton/año. En porcentajes se tiene a Tepeapulco con 42%, la Región de Tula-Tepeji-Tlaxcoapan con 30.9%, Tizayuca con 9.5%, Pachuca con 9.5 %, Tulancingo con 4 % y el resto con 4 %. Los residuos peligrosos sólidos que más destacan son los lodos y polvos de equipos de control de emisiones de la industria metálica básica con 59,863.340 ton/año; los lodos provenientes de aguas residuales de todos los giros manufactureros (excepto la industria de textiles) con 29,504.175 ton/año; las escorias de hornos de fundición dentro de la industria metálica básica con 36,382.970 ton/año; los lodos generados dentro de la manufactura de químicos, petróleo, carbón, caucho y productos plásticos con 19,689.904 ton/año y finalmente los lodos provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria textil con 5,064.003 ton/año.

En el área de estudio la problemática de los residuos peligrosos adquiere características propias en cada una de las regiones socioeconómicas consideradas (**Tabla I**). Las regiones con una mayor problemática son la XI

y la III; las regiones XII, I y II presentan un nivel menor y en lo que respecta a la región VII, en el presente estudio no se detectó generación de residuos peligrosos. Las regiones XI y III se consideran como zonas prioritarias para realizar estudios más detallados sobre la problemática de los residuos peligrosos. En la región XI se encuentra el municipio de Tepeapulco y este se localiza la zona industrial de Ciudad Sahagún. En esta zona se encontró que el sector metálico básico emite el 42 % de los residuos peligrosos encontrados, principalmente lodos y polvos de los equipos de control de emisiones al aire y escorias de hornos de arco eléctrico de fundición de acero. Estos residuos se encuentran en estado sólido, no se les practica alguna forma de tratamiento ni se disponen de forma adecuada en un confinamiento controlado para residuos industriales peligrosos. Esta situación puede ser causa de efectos adversos sobre el entorno si no se ejerce una solución en el corto plazo, como puede ser el monitoreo de los residuos ya emitidos y los que habrán de generarse, un manejo de estos desde un enfoque integral o bien plantear la factibilidad de un confinamiento *in situ*. En este municipio se tiene la ventaja de que la presencia industrial se encuentra bien identificada y esto permite mayores facilidades para el control y prevención de la contaminación emitida.

En la región III se localizan los municipios de Tula, Tlaxcoapan, Tepeji del Río y Atitalaquia. En estos municipios se emite 40 % del total de los residuos estimados en este trabajo. Los impactos negativos de índole ecológica, económica y social son de gran magnitud e importancia y los efectos nocivos ocasionados son cada

**TABLA X.** AGUAS RESIDUALES\* GENERADAS POR LA INDUSTRIA METALMECÁNICA POR MUNICIPIO

Municipio	Cantidad (m <sup>3</sup> /año)
048	743,600
051	0
077	171,600
016	0
056	3,300
063	396,000
076	4,620
070	3,300
074	13,200
010	0
003	0
041	0
050	0
061	1,969,385
008	13,200
069	1,024,925
066	14,300
Total	4,357,430

\* Nota: residuo tóxico

vez más evidentes. En esta zona destaca la presencia del sector químico. En los municipios de Tepeji del Río, de Tula, de Atitalaquia y de Tlaxcoapan se emiten residuos peligrosos de naturaleza muy heterogénea. Sin embargo los de mayor importancia son los lodos provenientes de las operaciones de la refinación de petróleo. Estos residuos presentan un estado semilíquido que facilita una posible disposición inadecuada en el cuerpo hidrológico que cruza la zona. En este caso se deben sumar los lodos provenientes de la depuración de efluentes residuales. Como ya se mencionó, la normatividad mexicana los considera como peligrosos. Se deben realizar estudios para descartar que estos lodos presenten alguna característica CRETIB. También destacan en esta zona las emisiones de escorias de hornos de fundición de chatarra de aluminio. Es de señalar que la técnica ERFCA no dispone de factores de generación para procesos industriales de petroquímica primaria y que además algunas importantes industrias del sector textil instaladas en la zona no proporcionaron información. En estos casos sólo se registraron las fuentes generadoras sin poderse calcular las cantidades de residuos emitidos. Si se manejan incorrectamente los residuos peligrosos, los efectos negativos afectarían a los municipios aledaños a los estudiados pues no existe ninguna barrera geográfica importante.

Las regiones XII, I y II emiten menores cantidades de residuos peligrosos en relación con las regiones XI y III, pero adquieren importancia debido a que si estos residuos se disponen de forma inadecuada, una población numerosa se encontraría expuesta a ellos. En la región XII se genera el 9.5% de los residuos encontrados. En Tizayuca, las industrias generadoras se encuentran localizadas en su mayoría en la zona industrial del municipio. Este conjunto de empresas presenta una naturaleza muy heterogénea. Se encuentran lo mismo empresas del ramo alimenticio que plantas fundidoras de metales o químicas. Además esta región es la cuenca lechera más importante del estado y sus instalaciones se encuentran en el parque industrial. La situación del parque industrial de Tizayuca plantea riesgos ambientales y de salud pública que deben ser tomados en cuenta. Este tipo de investigaciones concluye que es imperativo organizar los parques industriales del estado de acuerdo a los diferentes giros manufactureros. En la región I, se emite el 9.53 % de los residuos determinados en el estudio. La ciudad de Pachuca y su área conurbana presenta la mayor concentración de población del estado, por lo cual es necesario que los residuos peligrosos emitidos en el área sean manejados correctamente pues su disposición inadecuada genera riesgos importantes para la población. En la región II, se encontró que se emite el 3.75 % de los residuos. Presenta la segunda concentración de población del estado. Además existe una alta actividad agropecuaria debido a sus condiciones geográficas, entre ellas que es

atravesada por el Río Grande Tulancingo. Este es uno de los cuerpos superficiales de agua más importantes del estado (INEGI 1999). Los residuos peligrosos emitidos en esta zona pueden presentar estados semilíquidos que faciliten una inadecuada disposición de los mismos en el Río Grande Tulancingo. Por lo tanto es importante realizar análisis más detallados de la problemática en esta zona.

Se observa que a pesar de que no existe una gran actividad industrial en el estado de Hidalgo, en comparación con otros estados de la República, la problemática de los residuos peligrosos en el estado es grande (se emiten de acuerdo a este estudio 428 ton/año de residuos peligrosos), entre otros factores debido a que no existe actualmente una infraestructura consolidada para su manejo, tratamiento o disposición. Tampoco existe una infraestructura consolidada para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, por lo que los tiraderos de basura a cielo abierto, legales o clandestinos, se convierten en candidatos a recibir residuos peligrosos en sus instalaciones con los impactos negativos para el entorno que esto conlleva. Por otra parte, es necesario promover la vinculación entre los distintos sectores involucrados en la problemática de los residuos peligrosos: académico, industrial, gubernamental y social en el estado, con el fin de sumar esfuerzos en la búsqueda de soluciones así como para la difusión de las acciones emprendidas por los distintos sectores, para lograr con esto un manejo integral de los residuos peligrosos en el estado de Hidalgo.

Se hace notar que este trabajo genera una base de datos que permite tener un mejor y mayor conocimiento de la situación de los residuos peligrosos en Hidalgo. El trabajo presenta las características propias de un estudio de naturaleza preliminar, el cual debe ser detallado por medio de estudios complementarios que profundicen en las necesidades ya detectadas para lograr un conocimiento más preciso sobre este campo. Además, el uso de la técnica ERFCA ha demostrado ser de gran utilidad para la rápida generación de inventarios de contaminantes a bajo costo y con pocos recursos. Para finalizar, los resultados de este trabajo, al ser los primeros de su tipo en el estado, sientan un precedente valioso e importante para la solución de los problemas ambientales de Hidalgo.

## CONCLUSIONES

La base de datos obtenida indica que es necesario emprender una serie de acciones que tengan un impacto real en la toma de decisiones. Entre estas medidas se propone su divulgación entre los distintos sectores de la sociedad, por medios escritos, electrónicos y revistas especializadas. Se hace necesario investigar qué otras

metodologías existen para realizar inventarios y contrastar sus resultados con los obtenidos en la presente investigación con el fin de perfeccionar la información existente al respecto.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UAEH, INEGI, CNA, SEMARNAP, empresas, asociaciones (COPARMEX, CANACINTRA) y al Consejo Estatal de Ecología de Hidalgo el apoyo que hizo posible la realización del presente proyecto, en especial al Sistema de Investigación Regional Ignacio Zaragoza dependiente del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SIZA-CONACyT) que apoyó económicamente este trabajo con el Proyecto 960601005. Al Dr. Alejandro Álvarez Hernández por su apoyo y colaboración en la revisión del presente artículo.

### REFERENCIAS

- Beanlands G.E. (1986). Baselines Studies in EIA. En: *Regional Workshop on the Health and Environmental Impact Assessment of Development Projects*. ECO. México, Apr. 14-18. 10 p.
- CANACINTRA (1997). Cámara Nacional de la Industria de la Transformación-Hidalgo. Delegaciones Pachuca y Tulancingo. Directorio de Empresas Afiliadas. Pachuca, Hgo.
- CEA (1999). Comisión Estatal del Agua. Oficio No. CEA-001/99. Pachuca, Hgo.
- COPARMEX (1997). Confederación Patronal de la República Mexicana-Hidalgo. Delegaciones Pachuca y Tulancingo. Directorio de Empresas Afiliadas. Pachuca, Hgo.
- DOF (1996). Diario Oficial de la Federación. *Decreto por el que se promulga la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, México D.F. 30 de octubre.
- INE (1993a). Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993, que establece las características de los residuos peligrosos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre.
- INE (1993b). Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-053-SEMARNAT-1993, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre.
- INE (1993c). Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-054-SEMARNAT-1993, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre.
- INE (1993d). Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-055-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre.
- INE (1993e). Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-056-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre.
- INE (1993f). Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-057-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos que deben observar en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre.
- INE (1993g). Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-058-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre.
- INEGI (1995a). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Imágenes económicas. Censos económicos*. Ags. Ags. México, 93 p.
- INEGI (1995b). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Ley de Información Estadística y Geográfica*. Ags. Ags. México, 40 p.
- INEGI (1999). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Anuario estadístico del estado de Hidalgo*. Ags. Ags. México, 676 p.
- Schimmel C. y Griffen D. (1976). *Treatment and disposal of complex industrial wastes*. USEPA (EPA-600/2-76-123). Washington, D.C.
- SEMARNAP (1996). Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. *Programa para la minimización y manejo de residuos industriales peligrosos en México 1996-2000*. INE. www.ine.gob.mx
- Sitting M. (1975). *Environmental sources and emission handbook*. Noyes Data Corporation. Park Ridge, NJ.
- USEPA (1973). United States Environmental Protection Agency. *Guide for compiling a comprehensive emission inventory*. Washington, D.C.
- USEPA (1977). United States Environmental Protection Agency. *State decision-makers guide for hazardous waste management*. (SW612). Washington, D.C.
- Weitzenfeld H. Ed. (1989). *Evaluación rápida de fuentes de contaminación ambiental (aire, agua y suelo)*. ECO-SEDUE. Traducción de WHO Offset Publication No. 62/1982. Metepec, Edo. de México.
- WHO (1971). World Health Organization. *Solid waste disposal and control*. Technical Report Series No. 484.
- WHO (1977). World Health Organization. *Toxic and hazardous waste*. Regional Office Europe (Rept. ICP/CEP 402). Copenhagen.

WHO (1982). World Health Organization. *Rapid assessment of sources of air, water and land pollution*. Geneva.

WHO (1983). World Health Organization. *Compendium of Environmental guidelines and standards for industrial discharges*. Geneva.