

Inventario de Residuos Sólidos del Valle del Mezquital, Hidalgo

Elías Gerardo Rosas-Vázquez ¹, Abigail Zamora-Hernández ² y Gloria Inés González-López ^{1,*}

¹ Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana; Orizaba, Ver., México; glorgonzalez@uv.mx

² Instituto de Ingeniería. Universidad Veracruzana; Boca del Río, Ver., México; abzamora@uv.mx

* Autor de correspondencia: glorgonzalez@uv.mx

Recibido: 22 de abril de 2021 Aceptado: 11 de mayo de 2021

Resumen: Se realizó mediante investigación documental el inventario de residuos sólidos de la región del Valle del Mezquital (VM), el cual está integrado por 28 municipios, ubicados en el estado de Hidalgo, México. El objetivo fue identificar las fuentes que generan los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), los de Manejo Especial (RME) y los Residuos Peligrosos (RP). Las herramientas empleadas fueron la investigación de artículos y la consulta de inventarios de residuos, realizados en diversas ciudades y países, los cuales muestran índices de generación por fuente o en algunos casos por persona. Aplicando dichos índices se cuantificaron los residuos de cada fuente y sector de los municipios. Las fuentes de los documentos revisados incluyeron algunas oficinas gubernamentales tales como Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Los datos localizados se agrupan por municipio, de acuerdo con la clase de fuentes y tipo de residuo, lo que permitió la jerarquización de la problemática ambiental de Hidalgo en esta materia. El total de residuos sólidos que se generan anualmente en la región del VM es de 5,041,445 t/año; donde 92% son RME, el 7.63% son RSU y tan sólo 0.37% corresponde a RP. Comparando el total de residuos sólidos que se generan en el país, solo representa el 1%; dicha región es una de las más grandes en que se divide el estado de Hidalgo, ahí vive el 30% de su población total. En México el 92% de los sitios de disposición final son inadecuados y solo el 8% son rellenos sanitarios con disposición adecuada. Se encontró que en el VM la disposición final de los residuos es inadecuada, ya que de los 28 municipios que conforman la región, solo el 18% lleva sus residuos a rellenos sanitarios.

Palabras clave: Residuos sólidos urbanos; residuos de manejo especial, residuos peligrosos, Valle del Mezquital.

Solid Waste Inventory for Mezquital Valley, Hidalgo

Abstract: As a result of a documentary investigation, the solid waste inventory of the Mezquital Valley (VM) region was generated, which is in Hidalgo State in Mexico, and it is integrated by 28 municipalities. The main purpose was to identify the sources of waste that produce Urban Solid Waste (MSW), Special Management Waste (SHW) and Hazardous Waste (HW). For this purpose, several research articles and waste inventories developed for several cities and countries were reviewed and studied because some of them show generation indexes for each source and in some cases for each person. These indexes were applied to calculate waste for each source and sector of municipalities. The sources of reviewed documents include some government offices such as Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) and the Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Collected data were grouped by municipalities according to source type and waste type, which were used for representing environmental problems of Hidalgo state by hierarchy. Total solid waste generated in MV region is 5,041,445 t/year, with 92% are SHW, 7.63% are MSW and only 0.37% is for HW. A comparison of total solid waste generated in Mexico show that MV region contributes with only 1%, even when this region is one of the biggest in Hidalgo with 30% of the total population of the state. According to INEGI, in Mexico, 92% of final disposal sites are inappropriate and only 8% are landfills with appropriate disposal. For MV region, the final waste disposal is inappropriate because only 18% of its 28 municipalities deliver their waste into landfills.

Keywords: Urban Solid Waste, Special Management Waste, Hazardous Waste, Mezquital Valley.

Introducción

En los últimos años el crecimiento de la población, el desarrollo industrial, el cambio de producción de alimentos y el consumo de bienes, han originado un aumento considerable de residuos sólidos, rebasando en muchos casos la capacidad del sistema para tratarlos adecuadamente, lo que trae como consecuencia afectaciones a la salud de la población y al ambiente. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003), señala que un residuo sólido es un material o producto cuyo propietario desecha y se encuentra en estado sólido. Su gestión inadecuada genera un efecto adverso hacia el ambiente, siendo una de las principales causas de la contaminación del suelo, agua y aire (SEMARNAT, 2018).

En México los residuos se clasifican en tres tipos: RSU, que se generan en las casas-habitación y vía pública; RME, que provienen de procesos productivos o de grandes generadores, que son aquellos que superan las 10 t/año. La tercera

categoría RP, son los que poseen alguna de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes biológico-infecciosos (LGPGIR, 2003). La generación de residuos en México reportada en el año 2020 asciende a 491,004,564 millones de toneladas; 55.65% corresponde a residuos de minería, 34.80% a RME, 8.93% a RSU, 0.49% a RP y 0.03% a residuos petroleros (SEMARNAT, 2020).

La región del VM no es ajena a la problemática descrita. Esta zona es una de las diez regiones en las que se divide el estado de Hidalgo y está conformada por 28 municipios, con una superficie total de 642,653 hectáreas. Se sitúa en lo alto de la meseta mexicana, a 60 kilómetros de la Ciudad de México, con una altitud entre 1,700 y 2,100 metros sobre el nivel del mar. El clima es seco con lluvias en verano, con una temperatura y precipitación promedio anual de 24 °C y 550 mm, respectivamente; las lluvias se presentan de mayo a octubre y de noviembre a abril es la temporada seca (Chimal-Sánchez *et al.*, 2015). De acuerdo con datos del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2015), el VM tiene una población de 964,806 habitantes que demandan servicios y bienes. En la región se encuentran industrias mineras, cementeras, una refinería, manufactureras, entre otras, las cuales generan residuos sólidos.

Es importante estimar la generación de residuos sólidos de las diferentes fuentes, para realizar su gestión adecuada. Por tal motivo, en este trabajo se realizó un inventario de residuos sólidos del VM, con el fin de obtener una base de datos, con información proporcionada por documentos oficiales de las instituciones de gobierno, tales como: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), etc. Dicho Inventario sirve como fuente confiable y accesible para obtener y difundir información, a través de la cual se concientice a los ciudadanos sobre la problemática que puede originarse si no se realiza un manejo adecuado de los residuos (SEDEMA, 2017).

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en cuatro etapas:

1) Integración de la información de los municipios del Valle del Mezquital.

El fin fue conocer su medio biótico (fauna, uso de suelo y vegetación), abiótico (ubicación, clima e hidrología superficial) y socioeconómico (población y actividades económicas). Se recopilaron los planes municipales de desarrollo, prontuarios y datos de la página oficial de INEGI, en donde se tomaron en cuenta rubros tales como: temperatura media, hidrografía, uso de suelo, precipitación media, flora y fauna de los 28 municipios. El apartado de Banco de Indicadores de INEGI, permitió conocer el número de habitantes.

2) Identificación y clasificación de las fuentes de residuos sólidos en tres tipos de acuerdo con la LGPGIR.

Se listan las fuentes para cada uno de los tres tipos de residuos sólidos que se reconocen en México. Cabe mencionar, que se incluyeron todos para los que fue posible encontrar información.

RSU

- Casas habitación. Los generadores son los habitantes de cada municipio, que se consultaron en la página del INEGI.
- RSU no domiciliarios. Para conocer las fuentes que los generan se acudió a la página oficial de INEGI, donde se consultó el apartado de Espacios y datos de México, en el cual se identificaron las áreas verdes, los establecimientos económicos pequeños y áreas recreativas de los 28 municipios. Por medio de este procedimiento se pudo conocer la cantidad de fuentes de los RSU; empleando indicadores de generación se calculó el tonelaje diario.

RME

- Procesos productivos y servicios. Se consultó la página oficial de INEGI, en la sección de Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) que ofrece datos de identificación, ubicación, actividad económica

y tamaño de más de 5 millones de unidades económicas activas en el territorio nacional, actualizados fundamentalmente en el segmento de los establecimientos grandes. Se agruparon los grandes generadores, tales como: hospitales, tiendas departamentales, empresas, servicios de transporte, restaurantes, entre otros.

- Actividades agropecuarias. Incluye acuicultura, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas y ganaderas. En el DENU se identificaron las actividades que se desarrollan en cada municipio, así como el número de empleados en cada sector económico.

RP

- De manera similar, se consultaron los servicios de DENU, donde se identificaron los establecimientos o industrias que generan este tipo de residuos, como la química, la del petróleo y petroquímica, textiles, hospitales, mineras, etc.

3) Cálculo de la cantidad de residuos sólidos generados en cada fuente.

RSU

Para estimar el promedio de RSU del VM, se utilizaron metodologías planteadas de diversas fuentes de información, como el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (SEMARNAT, 2020) y la Cuantificación de RSU generados en la Cabecera Municipal de Berriozábal, Chiapas, México (Araiza *et al.*, 2017).

RME

Para el cálculo de los RME se consultó la metodología del Diagnóstico Estatal de Generación y composición de Residuos de Manejo Especial, publicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT) del estado de Guanajuato (2019). Se consideraron tres fuentes principales: procesos productivos, servicios y actividades agropecuarias.

RP

En este caso se consultó la Guía Metodológica para la realización de Inventarios de desechos peligrosos y otros desechos, en el Marco del Convenio de Basilea realizado por el Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (Centro Coordinador del Convenio de Basilea, 2016), así como inventarios realizados en diversas ciudades (SEDEMA, 2017). Dichos documentos contienen algunos índices de generación de residuos por industria, incluyendo las químicas, mineras, textiles, de pinturas, construcción, cementeras, talleres mecánicos y hospitales, semejantes a las que se encuentran en los 28 municipios que conforman el VM. Otro documento examinado fue el Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos (SEMARNAT, 2020), que incluye la cantidad de RP que se generaron en el año 2019. Con este dato se calculó el per cápita actualizado, dividiendo la generación total entre el número de habitantes del mismo año.

4) Elaboración del inventario.

Incluyó cuatro componentes principales: Primero los medios bióticos, abióticos y socioeconómicos del VM. En la segunda sección se añadió una tabla con la información de los RSU la cual contiene el número de habitantes, comercios y áreas verdes de cada municipio, junto con la generación de cada una de estas fuentes. La tercera sección comprende a los RME, donde se observaron las fuentes y la cantidad estimada que generaron; incluye a todos las industrias o establecimientos con más de 10 toneladas de residuos sólidos al año, así como los empleados de cada sector. Por último, se agregaron las fuentes de RP y el número de empleados de cada uno de los 28 municipios de VM, para calcular también el promedio de residuos generados.

Resultados y Discusión

Descripción de los medios. El VM es una de las diez regiones del estado de Hidalgo; geográficamente se sitúa en lo alto de la meseta mexicana a 60 kilómetros de la Ciudad de México (Figura 1), con una altitud entre 1,700 metros y 2,100

metros sobre el nivel del mar, con una superficie total de 642,653 hectáreas. Está conformada por 28 municipios, de los 84 en que se divide el Estado; su principal actividad es la agricultura y la ganadería (García-Salazar, 2019). El clima es seco con lluvias en verano, con una temperatura y precipitación promedio anual de 24 °C y 550 mm, respectivamente. La temporada de lluvias ocurre de mayo a octubre. Los suelos son de dos tipos: Leptosoles y Feozemes. La vegetación del Valle corresponde a matorral xerófilo, el cual consiste en varias especies como: Agavaceae, Asteraceae, Cactaceae y Leguminosae (Chimal-Sánchez *et al.*, 2015). La corriente principal de agua superficial es el Río Tula, los ríos secundarios más importantes son el Salto, Salado, Chicavasco, y Alfajayucan. Todos fluyen del suroeste al noreste del Estado de Hidalgo. El río El Salto y el Salado reciben anualmente más de 1500 Mm³ de aguas negras, provenientes de la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) (Chamizo *et al.*, 2018).

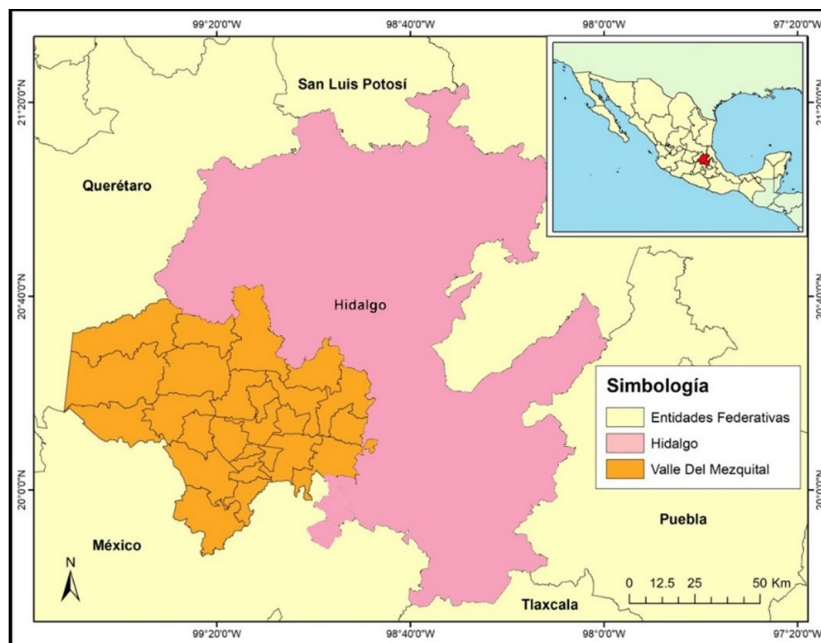


Figura 1. Ubicación del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo (Aguilar y González, 2019).

Medio biótico. La mayor parte de flora es de clima semidesértico, en el 47% de los municipios, mientras que los demás tipos son de bosque el 21.1%, desértico el 14.3%, 14% corresponde a selva baja y 3.5% de pastizales. La fauna que predomina son armadillo, coyote, zorrillo, ardilla, conejo, pájaros de diferentes especies, gato montés, zorro, así como también una gran variedad de insectos, arácnidos y reptiles. La mayor parte del suelo se usa para la agricultura 78%, el 22% restante se desglosa en zonas urbanas, bosques, matorrales y pastizales.

Medio abiótico. La mayor parte de los municipios presentan temperaturas anuales entre 12 y 18 °C, por lo que es una región con un clima semiseco-templado, como lo establece García (2004). Una de las mayores preocupaciones en la región del VM es la precipitación pluvial, ya que varía entre los 300 y 600 mm promedio anual, por lo que se considera baja (FAO, 2013). Este déficit provoca que el VM utilice aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) para el sector agrícola (García-Salazar, 2019), ocasionando importantes problemáticas sociales y ambientales en la región. De los 28 municipios que se encuentran en el VM, la mayoría cuenta con corrientes hídricas.

Socioeconómico. Tula de Allende cuenta con más de 100,000 habitantes, siendo el más poblado y Nicolás Flores el que tiene menor número de habitantes con 7,448. De acuerdo con el área de cada municipio, el mayor es Huichapan con 668.1 km² y el que tiene menos es Atotonilco de Tula, con 30.8 km². En este último su principal actividad económica es del sector terciario, el comercio, la industria alimentaria, construcción, transportes y almacenamiento, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles. Entre sus principales actividades productivas (sector secundario), se encuentra la agroindustria, metal mecánico, turismo, productos para la construcción, energías renovables, textil y confección. El 78% de los municipios aportan a la agricultura, pero también se desarrollan actividades de ganadería y de minería. Sin embargo, siendo en su mayoría una región poco industrializada, solo el 32%

de los municipios tienen un Índice de Marginación bajo, mientras que una quinta parte corresponden al catalogado como muy bajo y tan solo el 7% se encuentran en alto.

Tipo de residuos, fuentes y generación.

RSU domiciliarios. Se calcularon utilizando el índice per cápita, que se expresa en los kilos que cada habitante genera diariamente. Es un indicador que permite dimensionar las instalaciones o equipos necesarios para su recolección, aprovechamiento o disposición final. El estado de Hidalgo se encuentra en la zona Noroeste del país, con un índice per cápita de 0.727 kg/hab día (SEMARNAT, 2020). Este dato junto con la cantidad de habitantes que conforman el VM, obtenida del INEGI (2015), se ocuparon para obtener los RSU domiciliarios. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de RSU domiciliarios del VM, calculados utilizando el índice de generación de la zona Noroeste.

Municipio	No. hab	RSU (kg/d)	t/año
Actopan	56,429	41,024	14,974
Ajacuba	18,320	13,319	4,861
Alfajayucan	20,332	14,781	5,395
Atitalaquia	29,683	21,580	7,877
Atotonilco de Tula	38,564	28,036	10,233
Cardonal	18,347	13,338	4,868
Chapantongo	13,789	10,025	3,659
Chilcuahtla	18,169	13,209	4,821
El Arenal	18,807	13,673	4,991
Francisco I. Madero	35,872	26,079	9,519
Huichapan	45,959	33,412	12,195
Ixmiquilpan	93,502	67,976	24,811
Mixquiahuala de Juárez	46,224	33,605	12,266
Nicolás Flores	7,448	5,415	1,976
Nopala de Villagrán	16,896	12,283	4,483
Progreso de Obregón	23,451	17,049	6,223
San Agustín Tlaxiaca	36,079	26,229	9,574
San Salvador	35,547	25,843	9,433
Santiago de Anaya	17,032	12,382	4,520
Tasquillo	16,403	11,925	4,353
Tecozautla	37,674	27,389	9,997
Tepeji del Río de Ocampo	87,742	63,788	23,283
Tepetitlán	10,932	7,948	2,901
Tetepango	11,624	8,451	3,084
Tezontepec de Aldama	53,009	38,538	14,066
Tlahuelilpan	19,389	14,096	5,145
Tlaxcoapan	28,490	20,712	7,560
Tula de Allende	109,093	79,311	28,948
Total	964,806	701,414	256,016

Se puede observar que el municipio que genera mayor cantidad de RSU domiciliarios es Tula de Allende (Tabla 1), contrastando con el que menos genera que es Nicolás Flores. El 51% del total de los RSU generados en el VM se concentran en siete municipios: Actopan, Huichapan, Ixmiquilpan, Mixquiahuala de Juárez, Tepeji del Río, Tezontepec y Tula de Allende.

Residuos Sólidos Urbanos no domiciliarios.

En Araiza *et al.* (2017) se muestra el índice de generación de residuos por fuente (Tabla 2), donde se consideran establecimientos clasificados como pequeños. Se tomó como referencia este documento, por la semejanza entre los municipios que integran el VM y el lugar de estudio de referencia, que fue Berriozábal, Chiapas. Para estimar la generación se realizó la suma del número de unidades económicas, las cuales se agruparon en diez rubros (Tabla 2). Después se multiplicaron por el índice de generación de cada sector económico. Las áreas verdes y de recreación se incluyeron porque también son fuentes de RSU no domiciliarios.

Tabla 2. Cantidad de RSU no domiciliarios de los municipios del VM

Unidad económica/área pública	Número de unidades económicas	Índice Generación (kg/día)	RSU no domiciliarios (t/año)
Local comercial	8,202	6.65	19,908
Tienda de abarrotes	24,939	1.03	9,376
Expendio de carne	1,768	4.43	2,859
Expendio de frutas y verduras	1,000	7.92	2,890
Oficina pública/privada/cultural	742	2.05	555
Restaurantes	2,867	14.96	15,655
Gasolineras	145	53.12	2,811
Hoteles tipo posada	40	8.41	122,786
Unidades médicas	1,387	1.27	643
Áreas verdes	139	0.1 kg/m ²	73,662
Total			128,482

Residuos de Manejo Especial. Se consultó la metodología del Diagnóstico Estatal de Generación y composición de RME, publicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT) del estado de Guanajuato (2019). Ahí se establecen los valores de generación de residuos por empleado (GE) y por unidad económica (GUE); se consideraron tres fuentes principales: procesos productivos, servicios y actividades agropecuarias.

Procesos productivos.

Los valores de generación se deben tomar en cuenta dependiendo de la actividad económica. Para obtener los RME que se generan en el VM se multiplicó el valor de GE, por el número de personas que se encuentran trabajando en cada uno de los seis grupos (Tabla 3). Se sumaron el número de unidades económicas y el número de empleados de cada municipio, con el fin de tener un solo valor por cada actividad económica.

Tabla 3. Cantidad de RME generados de los procesos productivos de los municipios del VM.

Actividad económica	N° de unidades	N° de empleados	GE (t/persona día)	Generación de RME (t/año)
Industria Alimentaria	2,985	15,583	0.153	870,233
Industria química	40	1,795	0.186	121,863
Fabricación de equipos de transporte	9	215	0.050	3,924
Fabricación de productos metálicos	697	5,010	0.251	458,991
Industria de aparatos eléctricos	3	410	0.084	12,571
Fabricación de prendas de vestir	351	4,774	0.080	139,401
Total				1,606,983

Servicios. El procedimiento para el cálculo de fuentes de RME fue semejante al del apartado anterior, multiplicando el número de unidades económicas por la generación/unidad económica (GUE). El número de unidades se obtuvo sumando el total de cada municipio (Tabla 4).

Tabla 4. Cantidad de RME generados en los establecimientos que brindan servicio en los municipios del VM.

Tipo de establecimiento	N° de unidades	GUE (t/unidad año)	Generación de RME (t/año)
Tiendas de Autoservicio	199	295.93	58,890
Tiendas Departamentales	197	134.32	26,461
Restaurantes	498	9.20	4,582
Hoteles	274	21.85	5,987
Mercados	18	150.91	2,716
Hospitales	6	40.05	240.3
Centros comerciales	9	4.14	37
Cafeterías	606	1.75	1,061
Cines	5 (113 empleados)	0.47 t/ empleado año	53
Total			100,027

Actividades agropecuarias.

Residuos agrícolas. Se emplearon datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), además de la aplicación SIACON-NG-2018, de donde se obtuvo la producción de cuatro tipos de cultivos: maíz, frijol, cebada, trigo. Para calcular los residuos agrícolas se consultaron diversas fuentes bibliográficas, para obtener los índices de generación de residuo por kg y hectárea de cultivo, multiplicando el índice de generación de residuos por el total de toneladas de producción de los 28 municipios (Vélez *et al.*, 2013; SAGARPA, 2015; López *et al.*, 2016). En el caso de la calabacita, jitomate y tomate, el índice de generación está en función de las hectáreas sembradas, por lo que se tuvo que acudir al SIACON-NG (SIAP y SADER, 2018); se incluyeron ambos datos: toneladas producidas y el número de hectáreas sembradas. Los totales anuales se incluyeron en la Tabla 5.

Tabla 5. Cantidad de RME generados en el sector agrícola de los municipios del VM.

Cultivo	Toneladas producidas/año	Tipo de residuos	Índice de generación	Residuos (t/año)
Maíz	452,168	Rastrojo-Residuo vegetal		452,168
Frijol	13,544	Rastrojo-Residuo vegetal	1 kg de grano/1 kg de rastrojo	13,544
Cebada	70,571	Rastrojo-Residuo vegetal		70,571
Trigo	3,303	Rastrojo-Residuo vegetal		3,303
Calabacita	31,593 (1,792 ha)		44.5 t/ha	79,744
Jitomate	22,509 (653 ha)	Residuos vegetales	73.3 t/ha	47,865
Tomate	18,514 (1,182 ha)		38.5 t/ha	45,507
Total				712,702

Residuos ganaderos. SIACON-NG-2018 permitió conocer la producción anual de cabezas de animales de granja para carne. Para cuantificarlas se sumó el número de cabezas de cada municipio que conforman el VM. No se encontraron registros de la producción de cabezas de bovino, caprino y ovino lecheras. Para cuantificar el promedio de sus residuos se buscó la cantidad de excretas y orina que generan los animales de granja por día; multiplicando el número de cabezas producidas en 2018, por los índices encontrados (Tabla 6). Las fuentes consultadas fueron: Estrada, 2005; Mendoza *et al.*, 2010; Salcedo, 2010; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012; Vera-Romero *et al.*, 2014; Gallo y Gallo, 2016; Ramírez, 2017; Barros *et al.*, 2018; Barrós *et al.*, 2018. Se consideró de manera general la densidad de la orina en 1 g/cm³.

Tabla 6. Cantidad de RME generados en el sector ganadero de los municipios del VM.

Animales	Número de cabezas	Estiércol/cabeza (kg/día)	Orina (L/día)	Residuos (t/año)
Bovino	56,941	15	20.2	731,577
Porcino	56,207	2	4.7	137,454
Ovino	142,847	3	7	521,392
Caprino	18,231	1.6	1	17,301
Aves	21,146,298	0.102	-	787,276
Guajolote	84,656	0.27	-	8,343
Total				2,203,343

Así mismo, para determinar la cantidad de desechos orgánicos que generan los mataderos se consideraron las seis especies de animales de granja para carne de la Tabla 6, así como su factor de generación específico, que está en función del tipo de residuos que produce cada una de las categorías (sangre, grasa, huesos, orejas, cuernos, cascos, contenido ruminal, etc.). El total para el año 2018 fue de 13,493 toneladas de este tipo de residuos.

Residuos peligrosos. Los resultados de este apartado se dividieron en tres grupos. En la Tabla 7 se muestran los resultados para dos tipos: los generados en domicilios y los Residuos Peligrosos Biológicos Infecciosos (RPBI) de hospitales.

Tabla 7. Generación de RP domiciliarios y hospitalarios.

Fuente	Índice de generación	Habitantes VM/camas	Residuos (t/año)
Domiciliarios	4 kg/per cápita año	964,806	3,859
Hospitales	2.07 kg/cama día (países emergentes)	519	92

El tercer grupo lo constituyen los aceites gastados que provienen de vehículos. De acuerdo con INEGI, en el apartado de Vehículos de motor en circulación registrados, se incluyen los automóviles (camión o camioneta), los cuales se agruparon por tipo de vehículo y posteriormente se multiplicaron por el índice de residuos de aceite. Empleando la densidad de los aceites usados reportada por Cuervo y Valderrama (2019), de 0.87 kg/L, se obtuvieron 6,669 toneladas anuales. Finalmente, se utilizaron los resultados del Diagnóstico Básico para la Gestión integral de los residuos (SEMARNAT, 2020), que incluye la cantidad de RP que se generaron en el país en el año 2019, la cual ascendió a 2,447,597 t. Con este dato se estimó la generación per cápita nacional, resultando en 19.4 kg/año de RP. Empleando los datos anteriores, al dividirla entre la población del VM, se obtuvieron 18,717 t/año de RP. Este cálculo incluye todos los RP reportados por los generadores, por tal motivo será el que se incluirá en el inventario.

Inventario. En la Tabla 8 se presentan los resultados del inventario de residuos sólidos del Valle del Mezquital. Como ocurre frecuentemente, los RME son los que representan el mayor porcentaje de generación. Las cifras de estos residuos son mayores, ya que las fuentes que los generan son de gran tamaño y muy variadas; los porcentajes obtenidos fueron semejantes a los reportados en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, excluyendo los residuos mineros (SEMARNAT, 2020). Aunque el porcentaje de RP que se genera es el menor de los tres tipos de residuos, representan 18,717 t/año. Otras de las fuentes importantes de generación de residuos son las cementeras Holcim-Apasco, Cemex, Lafarge Cruz Azul y Caleras Beltrán, además de la refinería que se encuentra en Tula de Allende. No fue posible obtener información específica para el cálculo directo de la generación de éstas. Con relación a los RP que se generan en la refinería Miguel Hidalgo, se encontró la tesis de Ángeles (2002), que incluye la cantidad de RP que se generaron en el año 2002, la cual ascendió a 3,850 t. Con base en la cantidad de RP que se calcularon con el índice de generación nacional, que fue de 18,717 t/año, la Refinería Miguel Hidalgo aporta el 20% del total o más, ya que el dato usado se remonta a 19 años atrás.

Tabla 8. Generación de residuos sólidos del VM.

	Fuente	Inventario de Residuos Sólidos		
		t/año	%	% Total
RME	Procesos Productivos	1,606,983	31.89	92.00
	Servicios	100,027	1.98	
	Agrícolas	712,702	14.14	
	Ganadería	2,203,343	43.72	
	Mataderos	13,493	0.27	
RSU	Domiciliarios	256,016	5.08	7.63
	No domiciliarios	128,482	2.55	
RP	Generación total de RP	18,717	0.37	0.37
	Total	5,041,445	5,039,763	100

Conclusiones

Se realizó un inventario de los tres tipos de residuos sólidos de la región del Valle del Mezquital, Hidalgo, donde la generación para el año 2020 fue de 5,041,445 t.

Los resultados obtenidos indican que los municipios que más generan residuos sólidos son: Actopan, Huichapan, Ixmiquilpan, Mixquiahuala de Juárez, Tepeji del Río Ocampo y Tula de Allende, que es en donde se concentra la mayoría de la población y de las fuentes de los tres tipos de residuos.

Los RME son los que más se generan en la región del Valle del Mezquital, aportando el 92% que equivale a 4.6 millones de t/año, siendo el sector agrícola y los procesos productivos las fuentes principales.

Los RP fueron los más complicados de calcular, ya que la información es escasa y no se encuentran índices de generación. La SEMARNAT solo reporta la cantidad total del estado de Hidalgo, pero no especifica el tipo de empresas de donde provienen.

Bibliografía

- Aguilar S. G. y González V. R. (2019). Zonas con Potencial para el Pago de Servicios Ambientales en el Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista de Estudios Andaluces*, 38, 162-184.
- Ángeles N. Á. (2002). Impacto regional de la refinería Miguel Hidalgo en Tula de Allende. *Instituto Politécnico Nacional*.
- Araiza A. J. A., Chávez M. J. C. y Moreno P. J. A. (2017). Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 33 (4), 691-699.
- Barros G. Y. P., Dangond R. Y. E. y Bastidas B. M. (2018). Aprovechamiento del estiércol caprino como recurso biomásico para la producción de biogás tomando como referencia a la comunidad Yutaho ubicado en Cuatro Vías, La Guajira: Revisión. *Revista Agunkuyâa*, 7(2), 5-24.
- Barrós T. A., Bruna L. P., Vallés L. M., Castillo A. A., López E. L., Iguácel S. F. y Betrán A. J. A. (2018). Estiércoles. Caracterización, analítica e implicaciones sobre su aprovechamiento fertilizante. Gobierno de Aragón. Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad. Dirección General de Desarrollo Rural. Servicio de Innovación y Transferencia Agroalimentaria.
- Centro Coordinador del Convenio de Basilea (2016). Guía Metodológica para la realización de Inventarios de desechos peligrosos y otros desechos en el marco del Convenio de Basilea. Naciones Unidas, Ginebra.
- Chamizo C. S., Otazo S. E., Gordillo M. A. J., González R. C. A., Suárez S. J. y Muñoz N. H. (2018). El cambio climático y la disponibilidad agua en sub-cuencas del Valle del Mezquital, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5(5), 40-51.
- Chimal-Sánchez E., García-Sánchez R. y Hernández-Cuevas L. V. (2015). Gran riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Micología*, 41, 14-26.
- Cuervo S. A.C. y Valdiri P. J. D. (2019). Evaluación de los Procesos de Pretratamiento Requeridos para el Tratamiento Biológico de los Residuos de Aceites Usados de Motor Diésel. *Fundación Universidad de América*.
- Estrada P. M. M. (2005). Manejo y procesamiento de gallinaza. *Revista Lasallistas de Investigación*, 2(1), 43-48.
- Gallo B. E y Gallo D. L. (2016). Dimensionamiento de Instalaciones para el Tratamiento de Purines de una Empresa Porcina en Confinamiento. *Universidad Nacional de la Pampa*.
- García A. E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Universidad Nacional Autónoma de México.

- García-Salazar E. M. (2019). El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(54), 2-34.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Residuos Sólidos, Promedio diario de residuos sólidos urbanos recolectados por municipio y delegación.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Población. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019) Banco de Indicadores, Hidalgo, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2019 (DENUE). México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Vehículos de motor registrados en circulación.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). (2003). Cámara de Diputados. H. Congreso de la Unión en la LXIII Legislatura. Diario Oficial de la Federación del 8 de octubre de 2003.
- López H. J. C., Pérez M. C. y Acien F. F. G. (2016). Residuos Vegetales Procedentes de los Invernaderos de Almería. Fundación CAJAMAR- Grupo Cooperativo CAJAMAR. Departamento de Ingeniería – Universidad de Almería.
- Mendoza G. A., Berumen A. A. C., Santamaría M. E. y Vera C.G. G. (2010). Diagnóstico clínico del Ovino. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Pinos-Rodríguez J.M., García-López J.C., Peña-Avelino L. Y., Rendón-Huerta J. A., González-González C. y Tristán-Patiño F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46 (4), 359-370.
- Ramírez Z. S. A. (2017). Manejo de excretas de ovejas mediante compostaje, inoculado con microorganismos de montaña nativos en la finca experimental Santa Lucia, Heredia. *Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica*.
- Salcedo G. (2010). Estimación de excretas en sistemas de producción de leche basados en el aprovechamiento de forrajes. *Cría y salud*, 4(22), 26-32.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2015). Plan de Manejo de Residuos en Actividades Agrícolas Primera Etapa: Diagnóstico Nacional. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT) (2019). Diagnóstico Estatal de Generación y Composición de Residuos de Manejo Especial. Estado de Guanajuato.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA) (2017). Inventario de Residuos Sólidos CDMX.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2018). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2017-2018.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2018). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON-NG). México.
- Vélez I. A., Guevara H. F., Gómez C. J., Ovando C. J., Hellín J., Espinosa G. J. A., Sonder K., Rodríguez L. L. A., Reyes M. L., Fonseca F. M. A., Jesús O. G. M. de J., Borja B. M., Pinto R. R., Camacho V. T. C., Beuchelt T. D. y Hernández R. V. M. (2013). Rastrojos manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación (SAGARPA). Aguascalientes, México.
- Vera-Romero I., Martínez-Reyes J., Estrada-Jaramillo M. y Ortiz-Soriano A. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 15 (3), 429-436.