

Análisis de la caracterización de los residuos sólidos urbanos en una institución de nivel superior

M. C. García Vargas¹, M.Y. García Valderas², E. Marín Maya³, L. A. Quiroz Granados⁴, J. García Ávila⁵.
Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Zitácuaro

^{1,3,4} Departamento de Ingeniería Industrial, ² Departamento de Ciencias Básicas, ⁵ Departamento de Ciencias de la Tierra, del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Ave. Tecnológico No. 186 Manzanillos C.P. 61534 Zitácuaro, Mich. Tel. 01(715) 153-4445

migarcia97@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

El cambio en el comportamiento del consumo de los mexicanos ha dificultado el manejo de la basura a nivel municipal, no solo por la cantidad producida, sino por la variedad. Sin embargo, en la presente investigación se comprobó estadísticamente que no existieron diferencias significativas en la naturaleza de los residuos sólidos producidos en el Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ), durante los periodos primaverales de 2013 a 2017. Para comprobarlo se utilizaron las técnicas de Igualdad o diferencia de las proporciones mediante un intervalo de confianza para muestras independientes, y la Prueba de homogeneidad. Con este resultado se presenta la oportunidad de establecer estrategias a mediano y largo plazo a nivel institucional, que tiene como ventajas la educación ambiental en la comunidad estudiantil y la participación a nivel municipal para una mejor gestión de los residuos sólidos a nivel urbano.

Palabras clave: Residuos sólidos, caracterización, gestión, diferencia significativa.

Abstract

The change in the consumption behavior of Mexicans has made it difficult to manage garbage at a municipal level, not only because of the amount produced, but also because of the variety. However, in the present investigation it was statistically established that there were no significant differences in the nature of solid waste produced at the Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ) during the spring periods 2013 to 2017. To prove this, the techniques of Equality or difference in proportions were used using a confidence interval for independent samples, and the Uniformity Test. This result presents the opportunity to establish medium and long-term strategies at institutional level, which has the advantages of environmental education in the student community and participation at a municipal level for better management of solid waste at the urban level.

Key words: Solid waste, characterization, management, significant difference.

INTRODUCCIÓN

A diferencia de los procesos naturales, en donde la transformación de la materia no implica generación de basura y son altamente eficientes en el consumo de energía, el modelo de desarrollo extractivo-productivo que rige al mundo es ineficiente y derrochador, iniciando por el diseño de las mercancías que responde a los conceptos de obsolescencia planeada y percibida y terminando con la generación de enormes cantidades de basura, lo que a todas luces viola el principio de desarrollo sustentable (García Vargas, et al., 2016)

Uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la sociedad actual es el acelerado crecimiento de los residuos. No hay cifras exactas sobre la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) a nivel nacional, pero las estimaciones hechas por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-61-1985 sobre la Determinación de la Generación de Residuos Sólidos, arrojan un incremento notable en los últimos años; tan sólo entre 1997 y 2012 creció 43.8%, pasando de cerca de 29.3 a 42.1 millones de toneladas, como resultado principalmente del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, y el cambio en los patrones de consumo. Si se calcula la generación de RSU por habitante, se observa también un aumento importante: entre 1950 y 2012 el volumen diario aumentó más de tres veces, pasando de 300 a 990 gramos en promedio. En

términos anuales pasó de 301 a 361 kilogramos entre 1997 y 2012, es decir, se incrementó en promedio 3.3 kilogramos por año.

La producción total de RSU en el país difiere de manera importante a nivel geográfico. Michoacán pertenece a la zona Centro, de acuerdo con la regionalización de la SEDESOL (2013), para el análisis de la generación de residuos; en 2011 esta región contribuyó con el 51% del total en el país, es decir, con la mayor cantidad de desechos.

Algunas instituciones educativas de nivel superior en México ya han empezado a realizar acciones para conocer cuáles son los principales residuos sólidos que generan y qué pueden hacer con ellos, tal es el caso de la Universidad Autónoma de Baja California, Instituto Tecnológico de Tepic, Universidad Ibero Americana de México e Instituto Tecnológico de Zitácuaro. (García Valderas, 2014)

En el Tecnológico de Zitácuaro como máxima casa de estudios de la región oriente de Michoacán, siguiendo los lineamientos del Modelo Educativo del Siglo XXI, ha incluido la educación ambiental como parte integral de la formación de los profesionistas en ciernes. Como parte de esta formación los jóvenes del programa de ingeniería industrial han participado en la determinación de qué residuos se generaron, en qué cantidad, y la recuperación de residuos valorizables entre 2013 y 2017. Al analizar la información de la caracterización de los residuos, se observó que ésta no variaba considerablemente, fenómeno contrario a la variación que presentan los residuos municipales de acuerdo con SEDESOL (2013).

En la presente investigación se pretende determinar la igualdad o la diferencia de las proporciones de los residuos mediante un intervalo de confianza para muestras independientes, comparando los datos entre pares, es decir, entre 2013 y 2014; 2014 y 2015; 2015-2016 y finalmente entre 2016 y 2017, además de corroborarlo con la Prueba de Homogeneidad. Si los resultados indican que el tipo y las cantidades de residuos de la institución educativa en cuestión son iguales, a diferencia de las características de los residuos sólidos urbanos, que se distinguen, de acuerdo con SEDESOL (2013), por su gran diversidad, podrán diseñarse estrategias para mejorar la gestión de residuos dentro de la institución y contribuir al alargamiento de la vida útil de la disposición final de la basura a nivel municipio.

Fundamentos teóricos

El entendimiento de la diferencia entre basura o desecho y residuo es esencial en su manejo. Basura o desecho es aquel material o producto que se descarta sin que tenga la posibilidad de ser reusado o reciclado; en tanto que residuo se considera aquel material o producto que ha sido utilizado y desechado, pero que aún puede tener valor mediante su reuso y/o reciclaje. Para lograr la separación entre basura y residuos se precisa una clara categorización que permita apartarlos y que sean manipulados adecuadamente. Sin embargo, la heterogeneidad de los RSU dificulta el establecimiento de criterios claros de clasificación y manejo. Por tanto, se hace necesaria una categorización que desglose los residuos comunes de acuerdo a sus propiedades físicas, e identificar las implicaciones del manejo y confinamiento adecuado. Si la clasificación es sencilla y clara, es más probable su comprensión e incluso la participación de la ciudadanía en la separación de los desechos desde el origen.

La tipificación de los residuos sólidos urbanos utilizada en la presente investigación se fundamentó en la NMX-AA-22-1985 y en la propuesta por SEMARNAT (2001) que los clasifica de acuerdo a la fuente, el origen específico y el tipo de residuo.

SEMARNAT (2001) clasifica los RSU de acuerdo a su fuente, en domiciliarios; institucionales; áreas y vías públicas; comercial y de servicios. Retomando los RSU de fuentes institucionales, motivo del presente trabajo, estos se subdividen de acuerdo a su origen específico en escuelas, institutos y universidades; museos; iglesias; bancos y reclusorios. Los tipos de residuos por sus propiedades físicas se dividen en materiales inertes, tales como vidrio, plástico metales, lozas y cerámicas; tierras y cenizas; materiales fermentables, por ejemplo, residuos alimentarios, de jardinería, huesos y flores; por último, materiales combustibles v.gr. algodón, papel, cartón, tetrapack y tetrabrick, textiles naturales, textiles sintéticos, pañales desechables.

El complemento idóneo para su fácil separación es la NMX-AA-22-1985, cuyos subproductos se clasifican en algodón, cartón, cuero, residuo fino (todo material que pase la criba M 2.00), envase de cartón encerado, fibra dura vegetal (esclerénquima), fibras sintéticas, hueso, hule, lata, loza y cerámica, madera, material de construcción, material ferroso, material no ferroso, papel, pañal desechable, plástico rígido y de película, poliuretano, poliestireno expandido, residuos alimenticios, residuos de jardinería, trapo, vidrio de color, vidrio transparente y otros. Estas clasificaciones son de gran utilidad cuando se

aplica el método de cuarteo establecido en la norma NMX-AA-015-1985 para la caracterización y durante la selección de residuos.

Metodología

1. Caracterización de los RSU mediante el método de cuarteo establecido en la norma NMX-AA-015-1985. El objetivo es obtener una muestra representativa de los residuos sólidos del ITZ. El procedimiento consiste en verter la basura generada y colocada en el m³ sobre una superficie plana de cemento firme de 4 m² bajo techo (esto evita que los residuos entren en contacto con las propiedades físicas de la tierra, evitando la filtración de residuos finos que alteren la muestra). Posteriormente los desechos se traspalean para homogenizarlos; la muestra se divide en cuatro partes iguales A, B, C y D y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D (ver imagen 1), repitiéndose el mismo procedimiento nuevamente.

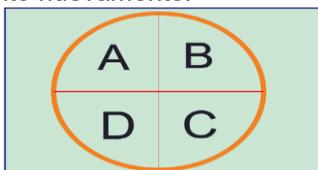


Imagen 1 División de la muestra de residuos para su caracterización

2. Clasificación y separación de los residuos de acuerdo con la norma NMX-AA-022-1985. Con el material obtenido se realiza la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-22 y en la propuesta por SEMARNAT (2001), posteriormente, se pesan para calcular la cantidad y el porcentaje de cada uno con respecto al peso total de todos los RSU de la muestra.
3. Analizar las variaciones en el comportamiento de los diferentes tipos de residuos. A cada tipo de residuo se le denominará categoría.
4. Determinación de la igualdad o diferencia de las proporciones de los residuos. Se aplica la técnica del intervalo de confianza para muestras independientes, utilizando la siguiente fórmula:

$$\hat{P}_1 - \hat{P}_2 \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{P}_1(1 - \hat{P}_1)}{n} + \frac{\hat{P}_2(1 - \hat{P}_2)}{m}}$$

Donde:

\hat{P}_1 y \hat{P}_2 es el valor de las proporciones del primer y segundo año que se van a comparar, respectivamente.

$Z_{\alpha/2}$ es el valor Z de la distribución normal con un nivel de error α

n y m es el tamaño de la muestra del primer y segundo año, respectivamente

5. Prueba de Homogeneidad: La distribución a utilizar en esta prueba es χ^2 , donde también se determina si existe igualdad o diferencia entre las proporciones de los residuos, pero considerando los datos de origen y que la comparación de todas las categorías se realiza al mismo tiempo.

Desarrollo

Caracterización de los RSU del ITZ en las primaveras de los años 2013 al 2017

Para llevar a cabo el método de cuarteo, fue necesaria la participación de cuando menos tres personas y establecer la frecuencia con la que se debe realizar, para que se acumule un metro cúbico de residuos, garantizando que los resultados sean significativos. Este procedimiento se llevó a cabo durante las primaveras de 2013 a 2017, con una frecuencia semanal para poder llenar el metro cúbico y substituir los 50 kg que establece la norma.

En el primer año (2013), se realizaron 7 cuarteos, analizando un total de 82.29 kg de los cuales, el 23.81% fue basura, el 1.92% PET, el 21.87% vidrio, el 1.85% metal, el 6.42% papel, el 3.97% cartón, el 13.10% residuos orgánicos y el 27.06% plásticos.

En el segundo año (2014) se realizaron 9 cuarteos, analizando un total de 115.19 kg, de los cuales el 34.13% fue basura, el 4.01% PET, el 16.54% vidrio, el 1.70% metal, el 9.48% papel, el 4.57% cartón, el 9.19% residuos orgánicos y el 20.37% plásticos.

En el tercer año (2015) fueron 8 cuarteos, analizando una cantidad de 98.84 kg, de los cuales el 29.83% fue basura, el 3.14% PET, el 18.76% vidrio, el 1.76% metal, el 8.21% papel, el 4.32% cartón, el 10.82% residuos orgánicos y el 23.16% plásticos.

En el cuarto año (2016) se realizaron 5 cuarteos, analizando un total de 79.51 kg, de los cuales el 26.41% fue basura, el 10% PET, el 13.13% vidrio, el 0.97% metal, el 11.19% papel, el 1.82% cartón, el 12.45% residuos orgánicos y el 24.02% plásticos.

Y para el último año (2017) fueron 7 cuarteos, con una cantidad de 92.40 kg, de los el 28.85% fue de basura, el 5.11% de PET, el 17.15% de vidrio, el 1.53% de metal, el 9.06% de papel, el 3.60% de cartón, el 11.29% de residuos orgánicos y el 23.41% de plásticos (Ver tabla 1).

Tabla 1 Resultado de los cuarteos primaverales en el Instituto Tecnológico de Zitácuaro

No.	Categorías	2013		2014		2015		2016		2017	
		Kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
1	Basura	19.59	23.81	39.38	34.13	29.49	29.83	21	26.4	26.66	28.85
2	PET	1.58	1.92	4.63	4.01	3.11	3.14	7.95	10.00	4.72	5.11
3	Vidrio	18	21.87	19.09	16.54	18.55	18.76	10.44	13.13	15.84	17.15
4	Metal	1.52	1.85	1.96	1.70	1.74	1.76	0.77	0.97	1.42	1.53
5	Papel	5.28	6.42	10.94	9.48	8.11	8.21	8.9	11.19	8.37	9.06
6	Cartón	3.27	3.97	5.27	4.57	4.27	4.32	1.45	1.82	3.33	3.60
7	Orgánico	10.78	13.10	10.61	9.19	10.70	10.82	9.9	12.45	10.43	11.29
8	Plásticos	22.27	27.06	23.51	20.37	22.89	23.16	19.1	24.02	21.63	23.41
Total		82.29 kg	100%	115.39 kg	100%	98.84 kg	100%	79.51 kg	100%	92.40 kg	100%

Análisis de las variaciones en el comportamiento de los diferentes tipos de residuos

Al realizar la comparación de los porcentajes de los residuos generados en los diferentes años, se puede observar que se presentan variaciones positivas y negativas. Por ejemplo, en la categoría 1, en el año 2014 se incrementó la cantidad de basura en un 10.32% con relación al 2013; en el año 2015 disminuyeron los desechos en un 4.30% respecto al 2014; en el 2016 disminuyó la generación de basura en un 3.42%, respecto al 2015 y finalmente, en el 2017 se presentó un aumento de 2.44% respecto al 2016.

Para la categoría 2, PET, en el año 2014 se presentó un aumento de 2.09% respecto al 2013; en 2015 un decremento de 0.87% respecto al 2014; en 2016 se amplió la cantidad de PET en un 6.86% respecto al 2015 y finalmente en 2017 disminuyó en un 4.89% respecto al 2016.

Para la categoría 3, en 2014 disminuyó la presencia del vidrio en un 5.33% respecto al 2013, pero en 2015 repuntó en un 2.22% respecto al 2014; en 2016 volvió a disminuirse la presencia de este residuo en un 5.63% respecto al año 2015 y en 2017 incrementó la cantidad en un 4.02% respecto al 2016.

En la categoría 4, metal, el comportamiento es muy estable de acuerdo a las cifras que se obtuvieron en los cuarteos. En 2014 hubo una disminución mínima de 0.15% respecto al 2013; en el 2015 subió ligeramente la presencia del metal en un 0.06% respecto al 2014; en 2016 bajo en un 0.79% respecto al 2014 y en 2017 volvió a subir en un 0.56% respecto al 2016.

En la categoría 5, papel, es importante mencionar que existen contenedores en las oficinas y lugares estratégicos para el acopio del papel que ya ha sido reusado, por tanto, la presencia de este material es mínimo comparado con el que se rescata a partir de los contenedores. En 2014 la presencia del papel se incrementó en 3.06% respecto al 2013 en el sitio de disposición temporal del Tecnológico; en 2015 se disminuyó en un 1.28% respecto al 2014; en 2016 se incrementó en 2.99% respecto al 2015 y en 2017 bajó la cantidad de papel en 2.13% respecto al 2016.

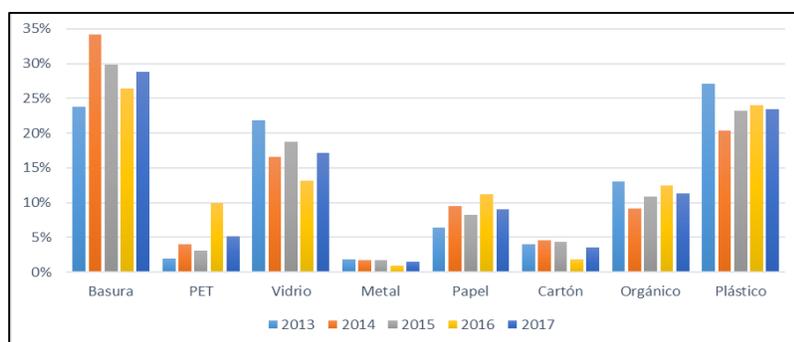
El comportamiento de la categoría 6, en 2014 se incrementó la presencia del cartón en un 0.59% respecto al 2013; en 2015 disminuyó en 0.25% respecto al 2014; en 2016 tuvo un crecimiento de 2.50% respecto al 2015 y en 2017 nuevamente se incrementó en 1.78% respecto al 2016.

En la categoría 7, relacionada con la materia orgánica, la fuente principal es la cafetería. Sin embargo, en el contrato con los concesionarios se establece que estos deberán hacerse cargo de los residuos generados durante el proceso de elaboración de alimentos y de los residuos que queden después de la ingesta. Como los usuarios pueden consumir fuera de la cafetería, se presentan residuos orgánicos en el contenedor para disposición temporal de residuos. El comportamiento fue que en 2014 se disminuyó en un 3.91% la materia orgánica respecto al 2013; en 2015 aumentó en 1.63% respecto al 2014; en 2016 se incrementó nuevamente en la misma proporción (1.63%) con respecto al 2015; por último, en 2017 se registró una disminución en un 1.16% en relación al 2016.

Respecto a la categoría 8, el comportamiento de los plásticos en 2014 disminuyó en 6.69% respecto al 2013; en 2015 aumentó en 2.78% respecto al 2014; en 2016 volvió a subir en un 0.86% respecto al 2015 y en 2017 bajó en 0.62% respecto al 2016.

Tabla 2 Variaciones en el comportamiento de los RSU del ITZ en la primavera de 2013 a 2017

No.	Categoría	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
1.	Basura	10.32%	-4.30%	-3.42%	2.44%
2.	PET	2.09%	-0.87%	6.86%	-4.89%
3.	Vidrio	-5.33%	2.22%	-5.63%	4.02%
4.	Metal	-0.15%	0.06%	-0.79%	0.56%
5.	Papel	3.06%	-1.28%	2.99%	-2.13%
6.	Cartón	0.59%	-0.25%	-2.50%	1.78%
7.	Orgánico	-3.91%	1.63%	1.63%	-1.16%
8.	Plásticos	-6.69%	2.78%	0.86%	-0.62%



Gráfica 1 Variaciones en el comportamiento de los RSU del ITZ en la primavera de 2013 a 2017

Determinación de la igualdad o diferencia de las proporciones de los residuos

Para poder comprobar si estos cambios son significativos, es decir, conocer si efectivamente la proporción cambia de un año con respecto a otro, es necesario determinar un intervalo de confianza de diferencia de proporciones para muestras independientes. Para realizar esta prueba se requiere la siguiente información:

- Proporción de los datos expresados en decimales
- Tamaño de muestra por año y nivel de confiabilidad para identificar el valor de Z, con un 95% de confiabilidad
- $\alpha = 5\%$, el valor de $Z_{\alpha/2} = Z_{0.025} = 1.96$. (ver Tabla 3)

Tabla 3 Determinación del intervalo de confianza para comprobación de cambios en la caracterización de los RSU del ITZ

No.	Categoría	No. de muestras	2013	2014	2015	2016	2017
			7	9	8	5	7
1.	Basura		0.2381	0.3413	0.2983	0.2641	0.2885
2.	PET		0.0192	0.0401	0.0314	0.1000	0.0511
3.	Vidrio		0.2187	0.1654	0.1876	0.1313	0.1715
4.	Metal		0.0185	0.0170	0.0176	0.0097	0.0153
5.	Papel		0.0642	0.0948	0.0821	0.1119	0.0906
6.	Cartón		0.0397	0.0457	0.0432	0.0182	0.0360
7.	Orgánico		0.1310	0.0919	0.1082	0.1245	0.1129
8.	Plásticos		0.2706	0.2037	0.2316	0.2402	0.2341
Total			1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Se realizó la comparación de las 8 categorías de la siguiente forma: 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017. Para calcular el intervalo de confianza de cada comparación fue necesario:

- a) Seleccionar los residuos a comparar y el tamaño de la muestra.
 A manera de ejemplo se muestra cómo se calculó el intervalo de confianza para la categoría que presentó mayores variaciones a lo largo del tiempo, es decir, la categoría 01 correspondiente a la basura, para los años 2013-2014 (ver tabla 4)

Tabla 4 Cálculo del intervalo de confianza de la basura

Categoría \ Año	2013	2014
	Proporción 1 \widehat{P}_1	Proporción 2 \widehat{P}_2
Basura	0.2381	0.3413
Tamaño de la muestra	7	9

- b) Establecer hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_1). Para el ejemplo, las dos hipótesis son las siguientes:

$$H_0: \widehat{P}_1 = \widehat{P}_2 \rightarrow H_0: 0.2381 = 0.3413 \qquad H_1: \widehat{P}_1 \neq \widehat{P}_2 \rightarrow H_0: 0.2381 \neq 0.3413$$

- c) Determinar Intervalo de Confianza (IC).

Al sustituir los valores en la fórmula se obtiene:

$$0.2381 - 0.3413 \pm 1.96 * \sqrt{\frac{0.2381(1 - 0.2381)}{7} + \frac{0.3413(1 - 0.3413)}{9}}$$

Simplificando la expresión;

$$-0.1032 \pm 0.4422$$

El límite inferior (LI) del intervalo se calcula mediante la resta, y el límite superior (LS) mediante la suma, resultando el siguiente IC:

$$IC = (-0.5454, 0.3389)$$

- d) Tomar decisión de acuerdo a la regla de decisión y al IC.
 La regla de decisión estadística es: si el cero se encuentra en el IC calculado, se acepta la hipótesis nula, de no ser así, se rechaza. De acuerdo con el IC del ejemplo, se acepta la hipótesis nula.
- e) Para calcular el resto de los intervalos se siguieron exactamente los pasos anteriores con el mismo nivel de significancia (ver Tabla 5).

Tabla 5 Intervalos para cada una de las proporciones comparadas

$Z_{\alpha/2} = 1.96$	2013 - 2014		2014 - 2015		2015 - 2016		2016 - 2017	
Categoría	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS
Basura	-0.5454	0.3389	-0.4003	0.4862	-0.4657	0.5340	-0.5362	0.4875
PET	-0.1846	0.1427	-0.1675	0.1849	-0.3580	0.2208	-0.2605	0.3583
Vidrio	-0.3375	0.4441	-0.3857	0.3413	-0.3447	0.4574	-0.4471	0.3668
Metal	-0.1292	0.1322	-0.1248	0.1236	-0.1173	0.1331	-0.1308	0.1195
Papel	-0.2944	0.2331	-0.2571	0.2826	-0.3654	0.3056	-0.3274	0.3700
Cartón	-0.2048	0.1929	-0.1936	0.1986	-0.1584	0.2083	-0.1990	0.1634
Orgánico	-0.2742	0.3523	-0.3026	0.2701	-0.3770	0.3444	-0.3608	0.3841
Plástico	-0.3545	0.4883	-0.4212	0.3655	-0.4837	0.4664	-0.4823	0.4946

- f) De acuerdo con los datos de la Tabla 5, se puede notar que el 0 se encuentra en todos los intervalos calculados, es decir, en todos los IC se acepta la hipótesis nula.

Prueba de homogeneidad

Otra prueba estadística que permitió identificar la igualdad o la diferencia de proporciones es la prueba de homogeneidad mediante la distribución chi cuadrada (χ^2). Para el cálculo de esta prueba fue necesaria la información expresada en kilogramos, es decir, la información de origen.

1. Tabla de contingencia: Se recopila la información relacionada con los kilogramos observados en cada año por categoría. Determinar el total de kilogramos por columna, el total de kilogramos por

fila y el gran total, que es la cantidad de kilogramos que se pesaron en los 5 años de estudio (ver Tabla 6).

Tabla 6 Tabla de contingencia

Categoría \ Año	Kilogramos observados (kg_o)					Total
	2013	2014	2015	2016	2017	
Basura	19.59	39.38	29.49	21.00	26.66	136.11
PET	1.58	4.63	3.11	7.95	4.72	21.99
Vidrio	18.00	19.09	18.55	10.44	15.84	81.92
Metal	1.52	1.96	1.74	0.77	1.42	7.41
Papel	5.28	10.94	8.11	8.90	8.37	41.60
Cartón	3.27	5.27	4.27	1.45	3.33	17.59
Orgánico	10.78	10.61	10.70	9.90	10.43	52.42
Plástico	22.27	23.51	22.89	19.10	21.63	109.40
Total	82.29	115.39	98.84	79.51	92.40	468.43

2. Establecer hipótesis: La ventaja de esta prueba, a diferencia del intervalo de confianza, es que compara al mismo tiempo las 5 proporciones de cada categoría. Por lo tanto, las dos hipótesis son:

H_0 : Las proporciones de cada categoría en los 5 años son iguales

H_1 : Al menos una proporción de cada categoría en los 5 años es diferente

3. Determinar región crítica ($\chi^2_{\alpha, \nu}$). Para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula es necesario comparar 2 valores. El primer valor esta dado por dos factores: el nivel de significancia (α) y los grados de libertad (ν). El nivel de significancia es 0.05 (establecido en el cálculo de intervalos de confianza); mientras que los grados de libertad se calcularon mediante la siguiente formula: $\nu = (\text{ renglones} - 1)(\text{columnas} - 1)$ (número de renglones y de columnas de la tabla de contingencia), con esto tenemos que $\nu = (8 - 1)(5 - 1) = 28$. Con $\alpha = 0.05$ y $\nu = 28$, se buscó el valor crítico establecido en la tabla de la distribución chi cuadrada, con un valor de $\chi^2_{0.05, 28} = 16.928$
4. Calcular kilogramos esperados (kg_e): La siguiente información que se calculó fue la de los kilogramos esperados por cada categoría y año, es decir, los kilogramos que se deberían obtener si la proporción es la misma para cada uno de los años. La información necesaria para calcular estos datos se obtiene de la tabla de contingencia y la fórmula para obtener estos resultados para cualquier celda es la siguiente:

$$kg_e = \frac{(\text{total de columna})(\text{total de fila})}{\text{Gran total}}$$

Por ejemplo, para obtener los kilogramos esperados para la categoría de basura, año 2013 se tiene:

$$kg_{e, \text{basura}} = \frac{(82.29)(136.11)}{468.43} = 23.91$$

Después de aplicar la formula anterior se obtuvieron los kilogramos esperados de la tabla 7.

Tabla 7 Kilogramos esperados

Categoría \ Año	Kilogramos esperados (kg_e)					Total
	2013	2014	2015	2016	2017	
Basura	23.91	33.53	28.72	23.10	26.85	136.11
PET	3.86	5.42	4.64	3.73	4.34	21.99
Vidrio	14.39	20.18	17.29	13.90	16.16	81.92
Metal	1.30	1.82	1.56	1.26	1.46	7.41
Papel	7.31	10.25	8.78	7.06	8.21	41.60
Cartón	3.09	4.33	3.71	2.99	3.47	17.59
Orgánico	9.21	12.91	11.06	8.90	10.34	52.42
Plástico	19.22	26.95	23.08	18.57	21.58	109.40
TOTAL	82.29	115.39	98.84	79.51	92.40	468.43

5. Calcular χ^2 : El segundo valor que se debe calcular se conoce como $\chi^2_{calculada}$, para poder obtenerlo se necesitan los kilogramos observados y los kilogramos esperados, sustituyendo la información correspondiente en la siguiente formula:

$$\chi^2_{calculada} = \sum_t \frac{(kg_o - kg_e)^2}{kg_e} = \frac{(19.59 - 23.91)^2}{23.91} + \frac{(39.38 - 33.53)^2}{33.53} + \dots + \frac{(19.10 - 18.57)^2}{18.57} + \frac{(21.63 - 21.58)^2}{21.58}$$

De acuerdo con lo anterior se tiene que $\chi^2_{calculada} = 14.9496$.

Categoría	χ^2 calculada					Total	
	Año	2013	2014	2015	2016		2017
Basura		0.7809	1.0210	0.0204	0.1915	0.0014	2.0151
PET		1.3485	0.1140	0.5072	4.7684	0.0339	6.7720
Vidrio		0.9052	0.0588	0.0918	0.8633	0.0061	1.9252
Metal		0.0368	0.0101	0.0201	0.1888	0.0013	0.2571
Papel		0.5631	0.0467	0.0509	0.4786	0.0034	1.1426
Cartón		0.0105	0.2026	0.0840	0.7899	0.0056	1.0926
Orgánico		0.2684	0.4103	0.0120	0.1131	0.0008	0.8047
Plástico		0.4847	0.4387	0.0016	0.0152	0.0001	0.9403
TOTAL		4.3980	2.3021	0.7881	7.4087	0.0527	14.9496

6. Decisión: La regla de decisión es la siguiente si $\chi^2_{calculada} > \chi^2_{0.05,28}$ se rechaza hipótesis nula. Por lo tanto, como $14.9496 < 16.928$, se acepta la hipótesis nula, es decir, las proporciones de los residuos en los diferentes años son iguales.

Resultados

La caracterización de los RSU mediante el método de cuarteo establecido en la norma NMX-AA-015-1985, se clasificaron en las siguientes categorías: basura, PET, vidrio, metal, papel, cartón, materia orgánica y plásticos diversos

El análisis de las variaciones en el comportamiento de los diferentes tipos de residuos da como resultado que en ninguna categoría se presentan solo incrementos o decrementos, de facto el 50% de los cambios es positivo y el 50% negativo, es decir, de los 4 cambios que se presentan, en 2 años aumenta la proporción de residuos y en 2 años la proporción disminuye (ver tabla 2 y gráfica 1).

Los resultados para la determinación de la igualdad o diferencia de las proporciones de los residuos mediante el intervalo de confianza y la prueba de homogeneidad se llegan al mismo resultado: las proporciones de los residuos en los años analizados son iguales.

Conclusiones

De acuerdo a los intervalos calculados para cada una de las proporciones comparadas, se obtiene que no existe ninguna diferencia significativa en la caracterización de los residuos generados en las estaciones de primavera de los años 2013-2014; 2014-2015; 2015-2016; 2016-2017.

Conocer el comportamiento de la generación de los RSU de la institución permitirá establecer estrategias para poder llevar a cabo una correcta gestión de los residuos en los meses de primavera.

Bibliografía

García Vargas, M. C., Rangel García, I. E. & García, A. A., 2016. Caracterización de los residuos sólidos urbanos de Zitácuaro, Michoacán. *AMECIDER*.

SEMARNAT, 2013-2014. *El Medio Ambiente en México*. [En línea]

Available at: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.html

[Último acceso: 05 octubre 2017].

SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, octubre, 2015, con base en: Secretaría de Desarrollo Social, Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, abril, 2013, Fecha de consulta: 15 de julio de 2016.

Secretaría de Economía, Dirección General de Normas, "Consulta del Catálogo de Normas Mexicanas". Fecha de consulta: 15 de julio de 2016 Consultado en <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx> 5-10-2015.