

## Artículo científico

## Lineamientos para la valorización de residuos sólidos en una industria de fabricación de agroquímicos

**Priscila Guadalupe Muñoz Monzón**

Ingeniera química; Msc en ingeniería sanitaria ERIS, USAC, Guatemala  
[priscila.munozmonzon@gmail.com](mailto:priscila.munozmonzon@gmail.com)

Recibido: 22.11.2017 Aprobado: 26.02.2018

**Resumen:** Este artículo presenta los resultados obtenidos de la valorización de residuos sólidos generados en las líneas de envasado en una empresa de agroquímicos. Se emplearon los lineamientos establecidos por el doctor Kunitoshi Sakurai para separar, clasificar y caracterizar los residuos sólidos en dos grupos: reciclables y no reciclables, en el mes de julio de 2016. Los resultados obtenidos determinaron que el 81% de los residuos sólidos son reciclables y 9% no son reciclables. La clasificación y caracterización de residuos no valorizables demostró que el grupo denominado como "trapos" presenta la mayor capacidad calorífica (1.04e14 kJ/kg). Adicionalmente se demostró por medio de la valorización que los residuos sólidos reciclables de la fábrica proporcionarían un ingreso anual de \$16 793.

Palabras clave: reciclables, cuarteo, capacidad calorífica, contaminación, densidad.

**Abstract:** This article presents the results obtained from the valuation of solid waste generated in the packaging lines in an agrochemical company. The guidelines established by Dr. Kunitoshi Sakurai were used to separate, classify and characterize solid waste into two groups: recyclable and non-recyclable, in the month of July 2016. The results obtained determined that 81% of solid waste is recyclable and 9% are not recyclable. The classification and characterization of non-recoverable residues showed that the group called "rags" has the highest heat capacity (1.04e14 kJ / kg). Additionally, it was demonstrated through the valuation that the recyclable solid waste from the factory would provide an annual income of \$ 16,793.

Key words: recyclable, , heat capacity, pollution, density

### Introducción

Este artículo muestra el análisis de la valorización de residuos sólidos generados por las líneas de envasado de sólidos y líquidos en una empresa de agroquímicos en Guatemala. El artículo describe el área de estudio y posterior, los antecedentes de mismo.

Los lineamientos establecidos por el doctor Kunitoshi Sakurai, que se muestran dentro de este artículo, permiten separar los residuos sólidos agrupándolos dependiendo de la naturaleza física de cada uno de ellos. Además, esta técnica permite caracterizar los residuos por medio del peso, volumen y capacidad calorífica. Uno de los aspectos más importantes de la técnica es que permite determinar el valor que generan estos residuos y su impacto en la sostenibilidad ambiental de la fábrica. Los resultados mostrados en este artículo demuestran que el 91% de los residuos generados en el área de producción son reciclables. Adicionalmente, se determinó que, de las 20 líneas analizadas, solamente 13 generan sólidos valorizables. Otro de los resultados obtenidos muestra que el 9% de

los residuos no reciclables, no son valorizables; el grupo denominado como "trapos" es el residuo que tiene la mayor capacidad calorífica y potencialmente puede ser utilizado como fuente para generar energía. El grupo denominado como "tarimas de madera" exhibió el mayor valor en el mercado de Q 3 563 durante cinco días. Este artículo demostró que la empresa tiene un potencial de generar y clasificar los residuos sólidos. De igual manera se pudo demostrar que los residuos pueden darle un ingreso económico en un año de \$ 16 793.

### Descripción del área de estudio

La planta cuenta con 120 colaboradores, directos y subcontratados, tiene 7 departamentos que son, bodega de materia prima, bodega de producto terminado, ingeniería, control de calidad, oficinas y centro de acopio, y el área de producción, que es la base de este artículo, cuenta con 20 líneas de envasado, para plaguicidas en forma sólida y líquida, en donde se genera residuos reciclables y no reciclables. El estudio solo se aplicó para los residuos que se generaban en el área de producción,

específicamente en las líneas de envasado de sólidos y líquidos.

### Antecedentes

Diferentes estudios se han desarrollado para determinar la valorización de residuos generados por industrias o entidades gubernamentales. Uno de ellos lo realizó el Banco Interamericano de Desarrollo. En este estudio se crearon las guías básicas para la evaluación del impacto ambiental de proyectos que generan residuos sólidos en municipalidades de América Latina (BID 1997). Otro estudio fue desarrollado por D. Brown (Brown Doreen, 2003) en este estudio se establecieron los lineamientos para determinar la gestión de residuos sólidos en municipalidades en la región centroamericana. En estos estudios mencionados anteriormente solo se generaron los lineamientos para la gestión del manejo de residuos, pero no estableció una base científica que permita saber cantidades de residuos generados a través de un período determinado. K. Sakurai (Kunitoshi, S. 1981) desarrolló un método que analiza los residuos sólidos y permite cuantificar y predecir las cantidades generadas de sólidos en un tiempo determinado. G. Figueroa (Figueroa Campos, Gustavo 2014) empleó la técnica de K. Sakurai para valorizar los residuos generados para el municipio de Jalapa, departamento de Jalapa, Guatemala. En este estudio se caracterizó todos los residuos sólidos que se generaban en el municipio. Los resultados se obtuvieron sectorizando el área de estudio para crear rutas de recolección. Posteriormente, se implementó el lineamiento establecido por K. Sakurai para cuantificar los residuos de la comunidad de Jalapa y predecir la generación de desechos sólidos para el año 2015. En Guatemala, muy pocas industrias han valorizado los residuos sólidos generados. Una empresa de agroquímicos valorizó los residuos generados utilizando como base el estudio "Manejo integral de residuos sólidos, determinando su fracción valorizable y estableciendo lineamientos para la disposición final para la planta de una industria de fabricación de agroquímicos" (Muñoz Monzón Priscila, 2017). Esta empresa logró cuantificar los residuos generados solamente en el área de producción. Los resultados indicaron qué residuos sólidos son susceptibles a valorización.

### Metodología

Se utilizó lineamientos diseñados por el doctor Kunitoshi Sakurai, en los pasos descritos a continuación:

1. Muestreo: Determinó el tamaño de la muestra que basados en los criterios establecidos en el Manejo integral de residuos sólidos, determinando su fracción valorizable y estableciendo lineamientos para la disposición final para la planta de una industria de fabricación de agroquímicos (Muñoz Monzón Priscila, 2017).
2. Sensibilización y capacitación de colaboradores en los cuatro aspectos siguientes:
  - a. Tipos de residuos sólidos que se generan en la planta.
  - b. Clasificación de los residuos sólidos.
  - c. Recepción de residuos sólidos en el centro de acopio.
  - d. Realización de examen para comprobación de entendimiento y aceptación de la información.
3. Selección de personal y equipo de cuarteo:
  - a. Dos colaboradores.
  - b. Equipo de Protección Personal: Uniforme, botas con punta dura, guantes, respirador,
  - c. Maquinaria, montacargas de capacidad de una tonelada,
  - d. Escobas, palas
  - e. Balanza.
4. Captación de muestras:
  - a. Fue de cinco días, el montacarguista fue a cada línea de producción para recoger los toneles que contenían residuos sólidos y los llevó al centro de acopio para poder realizar el cuarteo, los pasos que se siguieron:
  - b. Se identificó de que línea es cada tonel.
  - c. Se pesó cada tonel lleno.
  - d. Se descargó el desecho en el lugar a realizar el cuarteo.
  - e. Se pesó el tonel vacío.
  - f. Se llevó control de todos los datos

5. Determinación de la Densidad:
 

Peso los residuos contenidos en los toneles, se dividió dentro del volumen del recipiente.

  - Plástico, caucho y cuero.
  - Metales.
  - Vidrios.
  - Suelo y otros.
  
6. Cuarteo:
 

Se preparó la superficie del área para la determinación de la densidad y composición física de los residuos sólidos, para lo anterior se colocó pedazos de cartón grandes sobre el suelo, a fin de evitar que los residuos entraran en contacto directo con el piso, disminuyendo de esta forma la alteración de la muestra:

  - a. La muestra se homogenizó, mezclando todos los residuos sólidos.
  - b. Posteriormente, se dividió en cuatro partes.
  - c. Se escogieron dos partes opuestas y se formó otra muestra más pequeña.
  - d. Se repitió esta operación hasta obtener una muestra de 10 kg.
  - e. Se clasificaron los residuos sólidos:
    - Papel y cartón.
    - Trapos.
    - Madera y follaje.
    - Restos de alimentos.
  
7. Determinación de la composición física de los residuos sólidos.
  
8. Determinación de la capacidad calorífica de los residuos sólidos: mediante el uso de la ecuación de Dulong modificada (ecuación 1):
 
$$\frac{KJ}{kg} = \left[ 145C + 610 \left( H_2 - \frac{1}{8} O_2 \right) + 40S + 10N \right] * 2,326 \quad (2)$$
  
9. Determinación de residuos susceptibles a valorización: cartón, plástico (fleje) y madera (tarimas). Se investigó los precios en el mercado guatemalteco del kilogramo de cada material, y con eso se hizo su valorización.

A los resultados de densidad se les calculó la media, desviación estándar, y se determinó mediante el método Pareto, que líneas generaron más residuos.

## Resultados

La tabla 1 indica resultados asociados con las densidades obtenidas durante 5 días de medición en las 20 líneas de producción.

**Tabla 1. Densidad de los residuos sólidos no susceptibles a valorización**

No.	Nombre de la Línea	Día 1 20/07/2016; ρ (Kg/m3)	Día 2 21/07/2016; ρ (Kg/m3)	Día 3 22/07/2016; ρ (Kg/m3)	Día 4 23/07/2016; ρ (Kg/m3)	Día 24/07/2016; ρ (Kg/m3)
1	20L Herbicidas Líquidos	0	0	0	0	0
2	20L Insecticidas Líquidos	0	0	0	0	0
3	3.5L Herbicidas Líquidos	0	0	0	0	0
4	1L Insecticidas Líquidos	100	125	75	60	50
5	1L Insecticidas 2 Líquidos	90	65	80	80	50
6	1L Herbicidas Líquidos	75	75	65	60	55
7	1L Insecticidas 4 Líquidos	110	100	95	90	95

No.	Nombre de la Línea	Día 1 20/07/2016; ρ (Kg/m <sup>3</sup> )	Día 2 21/07/2016; ρ (Kg/m <sup>3</sup> )	Día 3 22/07/2016; ρ (Kg/m <sup>3</sup> )	Día 4 23/07/2016; ρ (Kg/m <sup>3</sup> )	Día 24/07/2016; ρ (Kg/m <sup>3</sup> )
8	200L Herbicidas Líquidos	75	70	65	70	65
9	200L Insecticidas Líquidos	70	65	65	60	55
10	100mL Herbicidas Líquidos	100	125	75	60	50
11	750g. Insecticidas Polvo	90	65	80	80	50
12	500g. Insecticidas Polvo	75	75	65	60	55
13	2kg. Insecticidas Polvo	110	100	95	90	95
14	100grs. Insecticidas Polvo	100	125	75	60	50
15	250 grs. Insecticidas Polvo	90	65	80	80	50
16	11kg. Insecticidas Polvo	75	75	65	60	55
17	Formulación Polvos	110	100	95	90	95
18	Formulación Líquidos 1	75	70	65	70	65
19	Formulación Líquidos 2	70	65	65	60	55
20	Formulación Herbicidas 1 Líquidos	70	60	55	60	65

Fuente: industria de fabricación de agroquímicos

La tabla 2 indica el resultado consolidado de peso de las 20 líneas durante los cinco días de medición

**Tabla 2. Kilogramos obtenidos de cada grupo de residuos sólidos en el cuarteo**

Tipo de residuo / Peso (kg)	Papel y cartón (kg)	Trapos (Kg)	Madera y follaje (Kg)	Plástico, caucho y cuero (Kg)
Suma de las 20 líneas durante los 5 días (Kg)	174	273	227	176

Fuente: industria de fabricación de agroquímicos

La tabla 3 indica resultados en el parametro capacidad calorífica,obtenidos de los residuos no susceptibles a valorización por grupos.

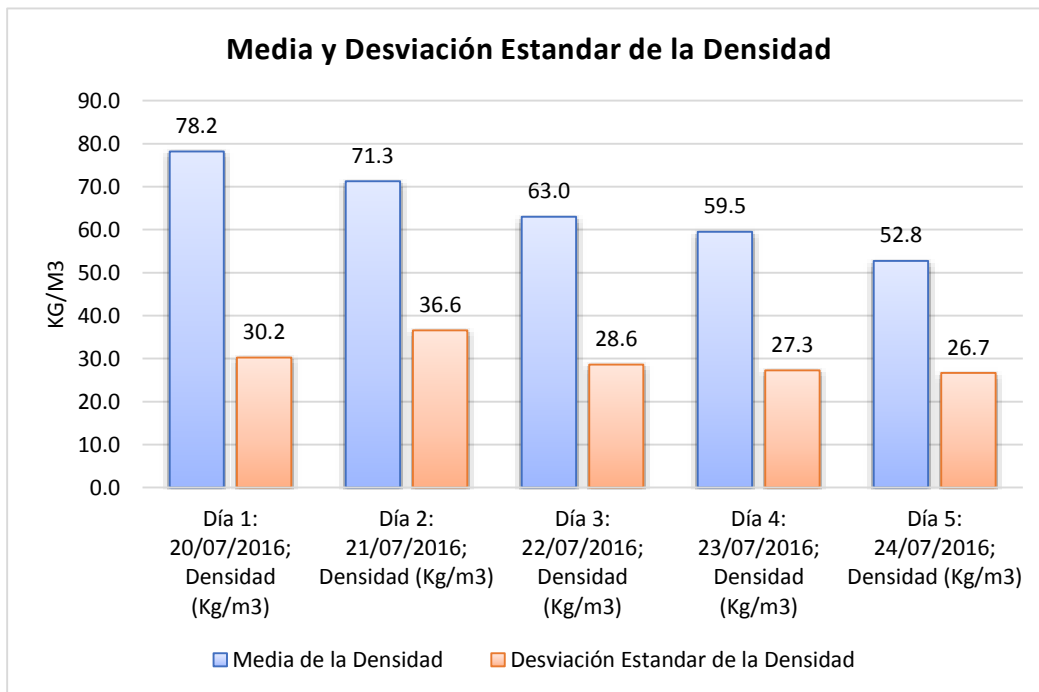
**Tabla 3. Capacidad calorífica de los residuos sólidos**

Tipo de Material	Capacidad Calorífica (KJ/ Kg)
Papel y cartón	4.2E+13
Trapos	1.0E+14
Madera y follaje	7.2E+13
Plástico, caucho y cuero	4.3E+13

**Fuente: industria de fabricación de agroquímicos**

La figura 1 indica los resultados estadísticos durante los 5 días de medición.

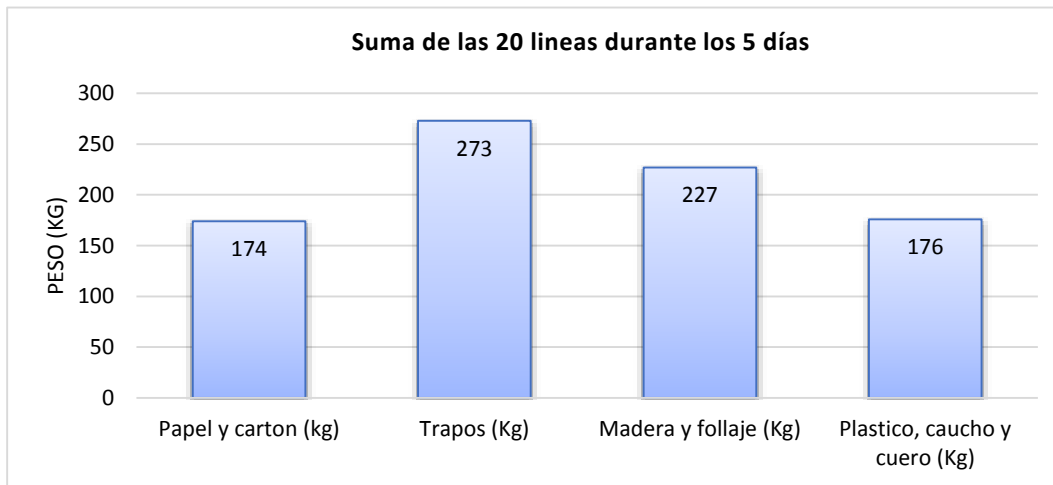
**Figura 1. Estadísticas de la Densidad de los residuos no susceptibles a valorización**



**Fuente: industria de fabricación de agroquímicos**

La figura 2 indica resultados asociados con la composición física de los residuos sólidos no susceptibles a valorización por grupos.

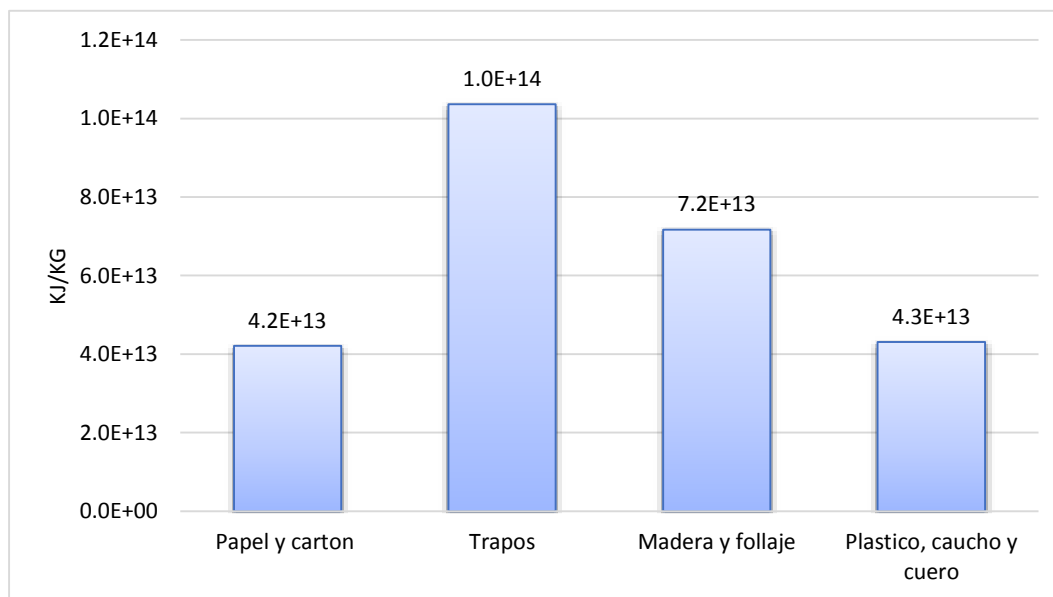
**Figura 2. Composición física de los residuos sólidos no susceptibles a valorización**



**Fuente: industria de fabricación de agroquímicos**

La figura 3 indica la capacidad calorífica de los residuos sólidos no susceptibles a valorización calculada por grupo.

**Figura 3. Capacidad Calorífica de los residuos sólidos no susceptibles a valorización**



**Fuente: Industria de fabricación de agroquímicos**

La tabla 4 indica los resultados de residuos no susceptibles a valorización, por grupos, mostrados en kilogramos y en dinero.

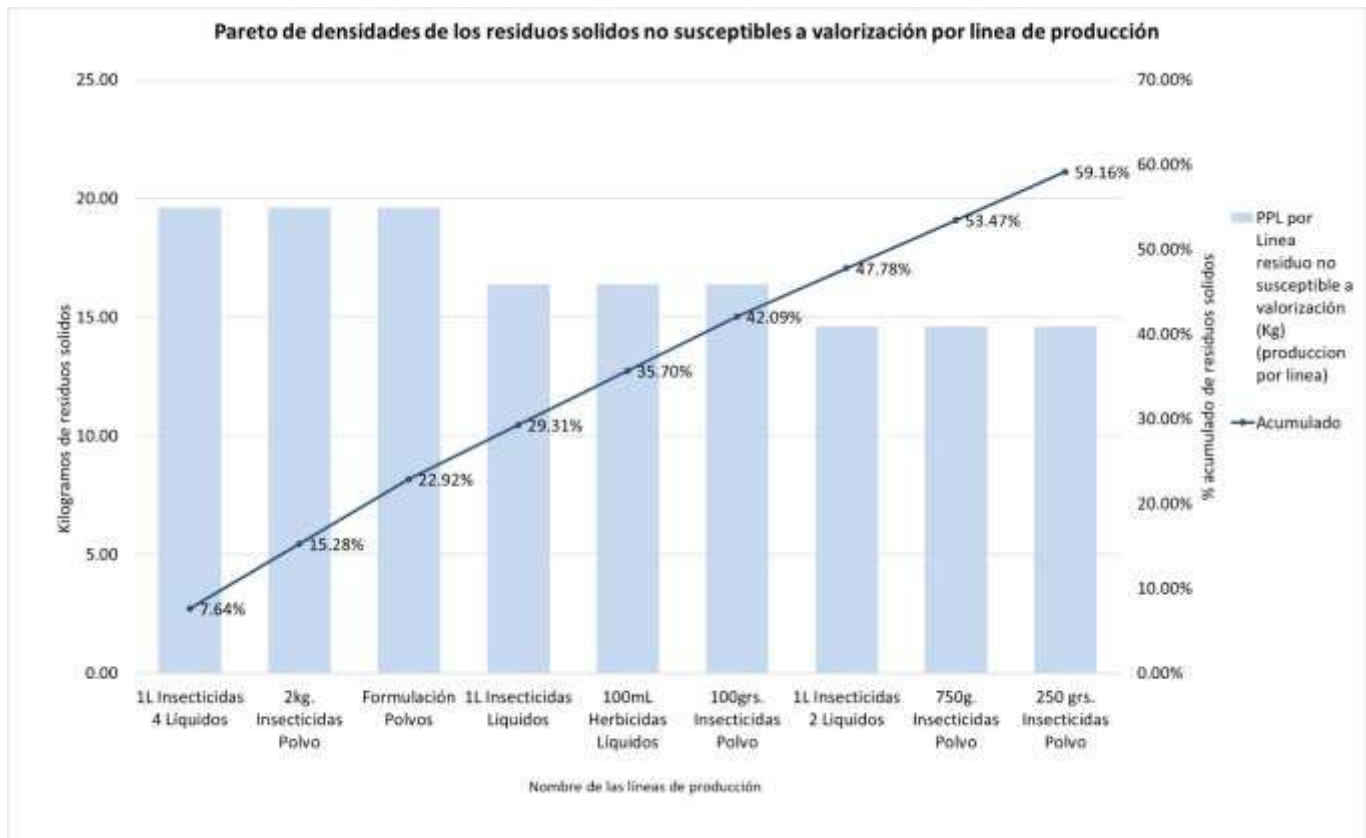
**Tabla 4. Residuos susceptibles a valorización**

Nombre de materiales	Total de plástico (Kg)	Total de cartón (Kg)	Total de tarimas de madera (Kg)	Total de residuos no susceptibles a valorización (kg)	Total por kilogramo plástico (Q)	Total por kilogramo de cartón (Q)	Total por kilogramo de madera (Q)
Suma de kilogramos de desechos y su precio, de todas las líneas de producción	9.2	110.3	2850.0	256.6	5.1	24.3	3562.0

Fuente: Industria de fabricación de agroquímicos

La figura 4 indica que líneas generaron más residuos.

**Figura 4.** Gráfica de Pareto



Fuente: industria de fabricación de agroquímicos



## Análisis de resultados

Se realizó una gráfica, figura 1, de datos de las densidades calculadas, en donde se determinó la media y la desviación estándar de los datos por cada día, obteniéndose desviaciones entre 26,7 y 36,6 kg/m<sup>3</sup>, lo que indica que los datos están dispersos y no existe un patrón de comportamiento, debido a que la producción es variable y no hay estacionalidad.

Se realizó un diagrama de Pareto, figura 4, el cual indica que el 80 % de los residuos son generados por 13 de 20 líneas de envasado, las principales en generar residuos son: 1L Insecticidas 4 líquidos, 2kg insecticidas polvo, formulación polvos.

De acuerdo con los lineamientos del doctor Kunitoshi Sakurai, se realiza el cuarteo de residuos sólidos, de donde se obtuvo la composición física de los residuos en kilogramos (figura 2), y qué tipo de residuo se genera con mayor frecuencia.

En base a la capacidad calorífica de los residuos sólidos no susceptibles a valorización, figura 3, se determinó que el grupo de trapos tiene el valor más alto. Éstos muchas veces contienen líquido atrapa-polvo, utilizado para realizar las limpiezas de las áreas.

Los residuos sólidos susceptibles a valorización, no se incluyeron en la metodología del cuarteo, para evitar la contaminación con los residuos de agroquímicos. Se investigó precios en el mercado guatemalteco del reciclaje para cartón, tarimas de madera y plástico, obteniendo un valor económico para los mismos, tabla 4, por un total anual de Q129 309 (\$16 164). El material que más valor tiene son las tarimas de madera, obteniendo la cantidad de Q 3 562,50 en cinco días.

## Conclusiones

La clasificación de residuos sólidos en la fábrica de agroquímicos obtiene un ahorro de Q129 309 (\$16 164) anuales, de la valorización de los residuos reciclables, que son plástico, cartón y madera, el grupo que obtiene mayor ingreso anual es la madera con un valor de Q 128 250 (\$16 031), le sigue el cartón con un ingreso de Q876 (\$ 110) al año, y por último el plástico, con un ingreso anual de Q183 (\$23), también un ahorro en emisiones a la atmósfera en un año de trabajo, en partículas suspendidas totales (PST) 82.72 mg/Nm<sup>3</sup>, óxidos de nitrógeno (NOx), 324 mg/Nm<sup>3</sup>, óxidos de carbono (CO), 127 mg/Nm<sup>3</sup>.

Los residuos sólidos no susceptible a valorización tienen una capacidad calorífica de  $1.03611 \times 10^{14}$  kJ/kg, que puede ser utilizada como fuente de energía.

## Agradecimientos y reconocimientos

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) por el seguimiento y oportunidad de estudio; asimismo, se reconoce el apoyo y la colaboración de la industria de fabricación de agroquímicos donde se realizó esta investigación.

## Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo, Guía para la evaluación de impacto ambiental para proyectos de residuos sólidos municipales. Procedimientos básicos. Washintong, DC. BID, 1997.
- Brown, Doreen; Umaña, Guillermo, et al. Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales, enfoque Centroamérica; aidis, care. El Salvador: proarca/sigma, 2003. 22 p.
- Figueroa Campos, Gustavo, M.Sc. y García Ramos, Luis, M.Sc. *Gestión integral de residuos sólidos con énfasis en residuos susceptibles a valorización y disposición final, para la cabecera departamental de Jalapa*, 2014. ERIS/USAC.
- Kunitoshi, S., *Método Sencillo del Análisis de Residuos Sólidos*, 1981. OPS/CEPIS.
- Muñoz Monzón, Priscila, *Manejo integral de residuos sólidos, determinando su fracción valorizable y estableciendo lineamientos para la disposición final para la planta de una industria de fabricación de agroquímicos*, 2017.ERIS/USAC.
- Tchobanoglous, George. *Gestión integral de residuos sólidos, Volumen 1 y 2*, 1997. McGraw-Hill.

## Información del autor:

Ingeniera Química, Priscila Muñoz Monzón, graduada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.