

LINEAMIENTOS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, EN LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JALAPA

Gustavo Adolfo Figueroa Campos

M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS–USAC, Guatemala
Escuela de Postgrados, Facultad de Ingeniería

Dirección para recibir correspondencia gustavofigueroa84@gmail.com

Recibido 31.03.2014 Aceptado 29.09.2014

RESUMEN:

Este artículo expone los lineamientos de disposición final de desechos sólidos para la ciudad de Jalapa, tomando como base su actividad económica, hábitos, composición física de los residuos generados y principalmente la producción per cápita obtenida de 0.66 kg/hab/día. El área total necesaria del relleno sanitario para una vida útil de 20 años es 51.2 Ha, esto incluye 178 trincheras de 5 m. de profundidad, 4 m. de ancho y 500 m. de largo, 2 m. entre cada trinchera para la estabilidad y accesibilidad con una superficie requerida de 0.29 m²/habitante/año. La profundidad de trinchera de 5 m. es la profundidad óptima, ya que a mayor profundidad se corre el riesgo de un deslizamiento de tierra y a menor profundidad el área superficial expuesta es mayor, lo que puede causar problemas de cierre y recubrimiento con material inerte. Pasada la vida útil del relleno sanitario semi mecanizado, la ciudad de Jalapa puede optar por un relleno sanitario totalmente mecanizado. El cambio permitirá que se inicie un programa de gestión integral de residuos sólidos, ya que una operación a mayor escala, así como el aumento poblacional, dará el tiempo necesario para que la gestión de residuos sea aceptada por la comunidad.

PALABRAS CLAVE: Disposición de residuos sólidos, Economía ambiental, Relleno Sanitario.

ABSTRACT:

This article exposes the guidelines for final disposal of solid waste for the city of Jalapa, on the basis of their economic activity, habits, physical composition of the waste generated and mainly the per capita production obtained of 0.66 kg/hab/day. The total area required of the sanitary landfill for a useful life of 20 years is 51.2 ha; this includes 178 trenches of 5 m deep and 4 m wide and 500 m long, 2 m. between each trench to the stability and accessibility with a required area of 0.29 m² /capita/year. The trench depth of 5 m is the optimal depth, since the higher depth it runs the risk of a slip of land and less depth the surface area exposed is greater, which can cause shutdown problems and coating with inert material. Finished the life of the landfill semi processing, the city of Jalapa can opt for a sanitary landfill fully mechanized. The change will allow the start of a program of integrated solid waste management; since a larger-scale operation, as well as a growing population, will give the necessary time to the management of waste is accepted by the community.

KEYWORDS: Solid waste disposal, environmental economics, Landfill.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Jalapa está localizada a 1,362 msnm, geográficamente limita al norte con Guastatoya (El Progreso); al este con San Pedro Pinula y San Manuel Chaparrón (Jalapa); al sur con San Carlos Alzatate, Monjas y Mataquescuintla (Jalapa) y al oeste con Sanarate, Sansare (El Progreso) y Mataquescuintla (Jalapa). La cabecera departamental de Jalapa carece de marco legal que regule el manejo de los residuos sólidos, por lo que se requiere un mayor compromiso de las autoridades locales para tratar esta problemática. Implementar mejoras o diseñar sistemas de manejo y tratamiento de residuos sólidos en una localidad, implica la necesidad de conocer las características de esos residuos, su tasa de generación, así como su composición y densidad, lo cual es indispensable para determinar el método de almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final más adecuado.

Existen varios tipos de disposiciones finales de residuos sólidos municipales, depósito a cielo abierto, relleno sanitario controlado, relleno sanitario semi mecanizado y relleno sanitario totalmente mecanizado. Con base a los resultados obtenidos en la caracterización, se obtuvo un programa de disposición final para la ciudad de Jalapa, el cual determinó los lineamientos para la disposición final.

El relleno sanitario semi mecanizado es la opción más adecuada para la disposición final de residuos sólidos para la cabecera departamental de Jalapa, debido a la cantidad de población del casco urbano, poco uso de maquinaria y sus bajos costos en operación y mantenimiento.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio está localizado a 1,362 msnm, a una latitud de 14°38'02" y longitud 89°58'52"; geográficamente limita al norte con Guastatoya (El Progreso); al este con San Pedro Pinula y San Manuel Chaparrón (Jalapa); al sur con San Carlos Alzatate, Monjas y Mataquescuintla (Jalapa) y al oeste con Sanarate, Sansare (El Progreso) y Mataquescuintla (Jalapa). (IGN 2000). La poblacional del área urbana de la cabecera departamental de Jalapa para el año 2014 es de 57,395 habitantes.

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El manejo de los residuos sólidos en la República de Guatemala y por ende en la cabecera departamental de Jalapa, área del estudio, carecen de lineamientos precisos para lograr una buena gestión o mejoras sustanciales en el manejo del mismo. La cabecera

departamental de Jalapa carece de marco legal que regule el manejo de los residuos sólidos por lo que se requiere un mayor compromiso de las autoridades locales para tratar esta problemática. En el momento actual, únicamente se atienden otros servicios como el agua potable y manejo de aguas residuales. Vale la pena destacar que un manejo inapropiado de los residuos sólidos genera impactos negativos en la salud y el ambiente.

METODOLOGÍA

Implementar mejoras o diseñar sistemas de manejo y tratamiento de residuos sólidos en una localidad, implica la necesidad de conocer las características de esos residuos, su tasa de generación, así como su composición y densidad, lo cual es indispensable para determinar el método de almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final más adecuado.

La manera ideal de obtener esta información es a través de un estudio de caracterización de residuos sólidos, para lo cual se obtienen muestras de un determinado número de viviendas, que deberán ser representativas del universo de la población.

PROCEDIMIENTO

Con base a la metodología mencionada, se procedió a efectuar el estudio de caracterización de residuos sólidos de tipo domiciliario del área urbana de Jalapa, ya que estos constituyen el más alto porcentaje de generación en el municipio. También se efectuó un pequeño análisis de los residuos institucionales, comerciales y barrido de calles. El procedimiento fue el siguiente:

- Premuestreo: se efectuó con el fin primordial de determinar el valor de la producción per cápita por día (PPC), este también permite estimar el número total de viviendas donde se colectarán las muestras.
- Socialización del estudio
- Caracterización de los residuos
 - Pesar el total de los residuos recolectados, verterlo en un nylon y mezclarlos homogéneamente.
 - Realizar el método del cuarteo.
 - Clasificar y pesar por categoría de residuos.
- Con base a la caracterización determinar los lineamientos para la disposición final.

RESULTADOS

Para la estimación de la producción per cápita se efectuó el pesaje de cada una de las bolsas obtenidas durante los cinco días de caracterización y se dividió por el número de habitantes correspondientes por

vivienda, obteniendo una producción per cápita promedio de 0.66 kg/hab/día.

Los resultados obtenidos en el estudio se muestran a continuación:

Tabla I. Composición de los residuos sólidos de origen institucional

Categorías	Peso (Kg)	%
Papel y cartón	8.00	28.39%
Plástico	2.32	8.23%
Pet	2.32	8.23%
Restos de comida	12.73	45.17%
Metales	0.45	1.61%
Duroport	0.90	3.19%
Textiles y hule	0.00	0.00%
Vidrio	0.45	1.61%
Papel Higienico	3.00	9.94%
Madera	0.00	0.00%
Otros	1.00	3.55%
Total	30.18	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla II. Composición de los residuos sólidos de origen comercial

Categorías	Peso (kg)	%
Papel y cartón	6.82	12.00%
Plástico	4.55	8.00%
Pet	2.73	4.80%
Restos de comida	39.09	68.80%
Metales	1.36	2.40%
Duroport	0.45	0.80%
Textiles y hule	0.91	1.60%
Vidrio	0.91	1.60%
Papel Higienico	2.70	4.54%
Madera	0.00	0.00%
Otros	0.00	0.00%
Total	59.52	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla III. Composición de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles

Categorías	Peso (kg)	%
Papel y cartón	11.36	40.32%
Plástico	3.64	12.90%
Pet	1.82	6.45%
Restos de comida	1.82	6.45%
Metales	2.27	8.06%
Duroport	0.91	3.23%
Textiles y hule	0.91	3.23%
Vidrio	0.91	3.23%
Papel Higienico	0.00	0.00%
Madera	0.00	0.00%
Otros	4.55	16.13%
Total	28.18	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV. Composición de los residuos sólidos domiciliarios

Categorías	Peso (Kg)	%
Papel y cartón	6.12	11.20%
Plástico	5.50	10.06%
Pet	1.00	1.83%
Restos de comida	19.00	34.76%
Metales	1.50	2.74%
Duroport	1.00	1.83%
Textiles y hule	8.17	14.94%
Vidrio	2.33	4.27%
Papel higiénico y pañales	10.04	18.37%
Madera	0.00	0.00%
Otros	0.00	0.00%
Total	54.67	100.00%

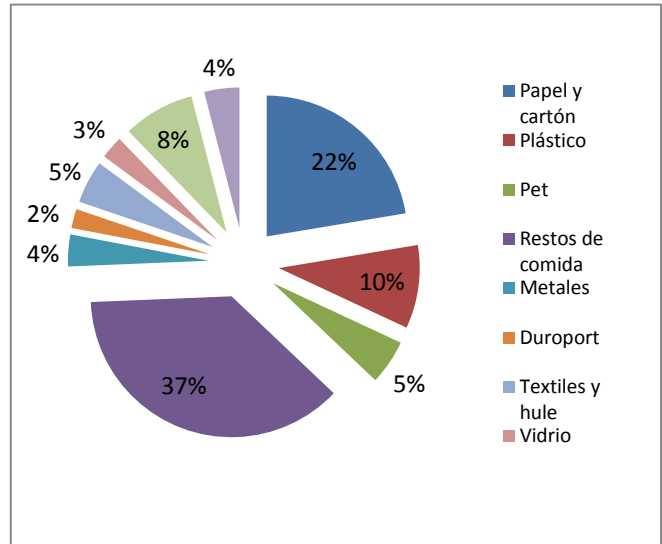
Fuente: Elaboración propia

Tabla V. Composición promedio de los residuos Institucionales, comerciales, barrido de calles y domiciliarios

Categorías	Promedio
Papel y cartón	22.37%
Plástico	9.57%
Pet	5.14%
Restos de comida	37.27%
Metales	3.65%
Duroport	2.20%
Textiles y hule	4.92%
Vidrio	2.63%
Papel Higiénico	8.21%
Otros	4.03%
Total	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura I. Composición promedio de los residuos Institucionales, comerciales, barrido de calles y domiciliarios



Fuente: Elaboración propia

LINEAMIENTOS RELLENO SANITARIO

Lineamiento es un conjunto de acciones específicas que determinan el modo para llevar a cabo una actividad. En tal medida determinaremos la dirección para la disposición final de residuos sólidos, que no cause molestias ni peligro para la salud, seguridad pública y el ambiente durante su operación y abandono del mismo.

Existen varios tipos de disposición final de residuos sólidos municipales, depósito a cielo abierto, relleno sanitario controlado, relleno sanitario semi mecanizado y relleno sanitario totalmente mecanizado. (Oakley, 2007). El relleno sanitario semi mecanizado es la opción más adecuada para la disposición final de residuos sólidos para la cabecera departamental de Jalapa, debido a la cantidad de población del casco urbano, poco uso de maquinaria y sus bajos costos en operación y mantenimiento.

Los rellenos sanitarios semi mecanizados se construyen con trincheras abiertas al ambiente, las cuales no utilizan maquinaria pesada para la compactación de desechos, más bien se utiliza mano de obra calificada o compactación natural. La compactación y cobertura con material inerte debe efectuarse diariamente. (Jaramillo, 2002).

Las características físicas de los rellenos sanitarios semi mecanizados incluyen cercos con puertas de entrada, caseta de control, báscula, impermeabilización

con arcilla y sistemas de recolección de escurrimiento de lixiviados y ventilación de biogás. (Oakley, 2007).

Se estima que el relleno sanitario semi mecanizado es factible para poblaciones de hasta 100,000 habitantes. (Jaramillo, 2002).

El volumen de los residuos que ingresa en el sitio está suelto, la densidad según la caracterización fue de 108.19 kg/m³. Esta indica el volumen inicial que ingresa a las trincheras y el volumen de la fosa mensual.

DISEÑO DE CELDA DIARIA

La zanja de excavación es de 5m. de profundidad y 4m. de ancho, se selecciona como se puede observar en la Tabla V. En la Figura II se muestra como varía el área superficial expuesta con base a la profundidad y en la Figura III se observa un diagrama de cómo debe ser llenada la trinchera.

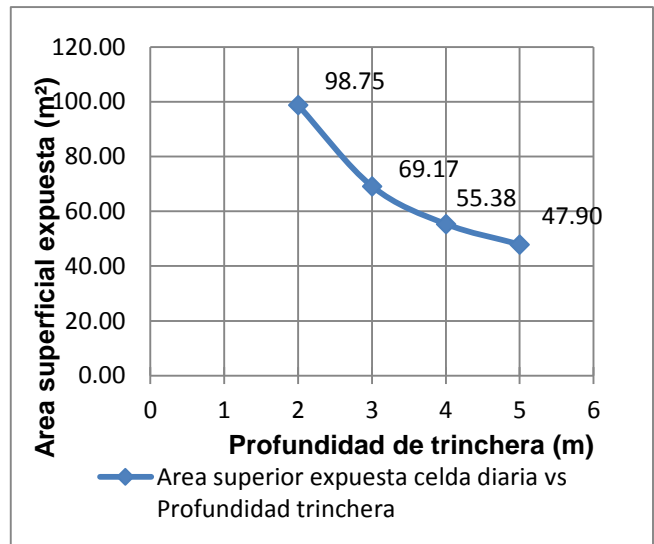
Tabla V. Optimización de dimensiones de las trincheras para minimizar el área superficial expuesta (Vd= Volumen diario, P=profundidad, A=ancho, Id=longitud diaria, Asd=área superficial diaria, Af= área frente, Ast-d=área superficial total requerida).

Vd	P	A	Id	Asd	Af	Ast-d
189.51	2	2	47.38	94.75	4	98.75
189.51	2	3	31.58	94.75	6	100.75
189.51	2	4	23.69	94.75	8	102.75
189.51	2	5	18.95	94.75	10	104.75
189.51	2	6	15.79	94.75	12	106.75
189.51	2	7	13.54	94.75	14	108.75
189.51	2	8	11.84	94.75	16	110.75
189.51	3	2	31.58	63.17	6	69.17
189.51	3	3	21.06	63.17	9	72.17
189.51	3	4	15.79	63.17	12	75.17
189.51	3	5	12.63	63.17	15	78.17
189.51	3	6	10.53	63.17	18	81.17
189.51	3	7	9.02	63.17	21	84.17
189.51	3	8	7.90	63.17	24	87.17
189.51	4	2	23.69	47.38	8	55.38
189.51	4	3	15.79	47.38	12	59.38
189.51	4	4	11.84	47.38	16	63.38
189.51	4	5	9.48	47.38	20	67.38

Vd	P	A	Id	Asd	Af	Ast-d
189.51	4	6	7.90	47.38	24	71.38
189.51	4	7	6.77	47.38	28	75.38
189.51	4	8	5.92	47.38	32	79.38
189.51	5	2	18.95	37.90	10	47.90
189.51	5	3	12.63	37.90	15	52.90
189.51	5	4	9.48	37.90	20	57.90
189.51	5	5	7.58	37.90	25	62.90
189.51	5	6	6.32	37.90	30	67.90
189.51	5	7	5.41	37.90	35	72.90
189.51	5	8	4.74	37.90	40	77.90

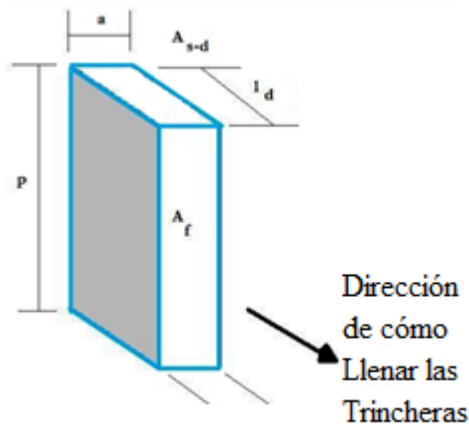
Fuente: Elaboración propia

Figura II. Área Superior expuesta vs. Profundidad de trinchera

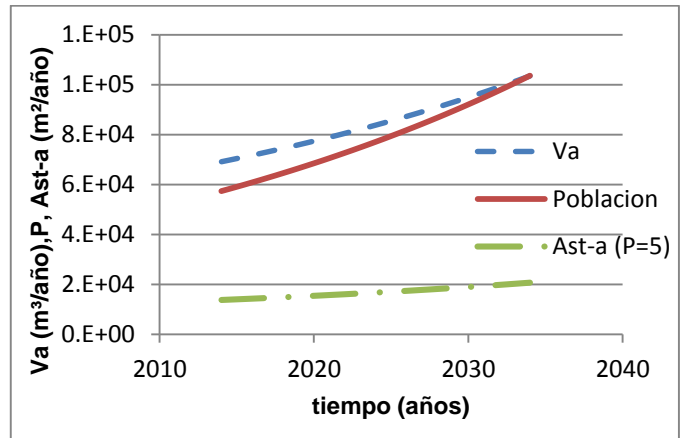


Fuente: Elaboración propia

Figura III. Área expuesta y dimensiones de la celda diaria por el método de trinchera.



Fuente: Stewart Oakley



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE TRINCHERAS

La longitud de diseño para una trinchera se basa en la capacidad mensual del relleno. Para el comienzo del proyecto la zanja mensual será de 500 metros de largo. Con la población proyectada para el 2034, en 20 años serán necesarias diez trincheras de 500 metros de largo. El uso de los volúmenes adecuados de las zanjas y los diferentes tiempos de llenado mantendrá la simetría y la geometría del sitio.

DISEÑO DE RELLENO SANITARIO SEMI MECANIZADO

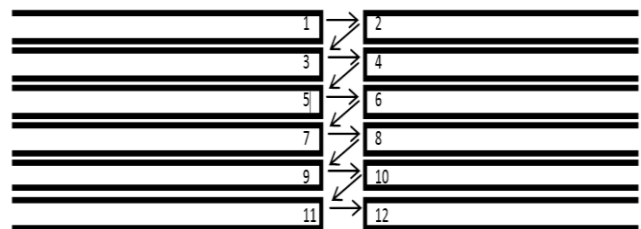
El diseño del sistema de trinchera incluye 178 trincheras para ser utilizadas durante una vida útil de 20 años. El volumen de cada trinchera puede ser calculado como 5 m. de profundidad, 4 m. de ancho y 500 m. de largo, asumiendo que la población crece a una tasa de crecimiento de 3% anual y la generación de residuos es de 0,66 kg/hab/día. La figura IV expresa cómo se comporta en el tiempo el volumen anual de las trincheras con una profundidad de 5 m., crecimiento poblacional de 3% y el área superficial total anual.

Figura IV. Población, generación de residuos y área total de trincheras por año con una P = 5 m.

El área de superficie de cada trinchera, es de 4 m. por 500 m. y 2,00 m. de espaciamiento entre celda, esto nos da el área superficial total del vertedero. El área total necesaria para la vida útil de 20 años es de 51.2 Ha. Esto incluye 2 m. entre cada trinchera para la estabilidad y accesibilidad. La superficie requerida por persona es de 0.29 m²/ habitante/año.

La disposición de las trincheras debe maximizar el espacio utilizable, así como permitir también que la trinchera del mes anterior sea semi aeróbica para la consolidación y descomposición antes de añadir la cobertura final mientras se está llenando la trinchera del mes actual. La secuencia de llenar cada trinchera se ilustra en la Figura V. Durante la excavación, el suelo puede almacenarse en la parte superior de una trinchera cerrada adyacente; durante el llenado de la trinchera 3, el material de exceso puede ser colocado encima de la trinchera 1 dado que esta ya ha sido llenada y cerrada.

Figura V. Secuencia de relleno de trincheras



Fuente: Stewart Oakley

Se determinó el tiempo que necesita una retroexcavadora para realizar las excavaciones de las celdas que se requieren cada año, dando un tiempo de excavación de 35 días el primer año y 63 días al final de la vida útil del relleno sanitario de residuos sólidos,

con un rendimiento de excavación de la retroexcavadora de 250 m³/hora.

El número de trabajadores necesarios para la operación del relleno sanitario semi mecanizado, considerando una jornada de ocho horas diarias y con un tiempo efectivo de seis horas, es el siguiente:

- 1 encargado del relleno
- 41 acondicionadores para el relleno sanitario semi mecanizado y clasificación de los desechos
- 2 guardias de la garita de ingreso

Los costos de un relleno sanitario semi mecanizado son significativamente menores que el de un relleno sanitario totalmente mecanizado. Se recomienda que la cabecera departamental de Jalapa empiece enterrando sus residuos sólidos en trincheras y operar un relleno sanitario semi mecanizado como disposición final. Después que todas las trincheras hayan sido cerradas y selladas, existe la opción de desarrollar un relleno sanitario totalmente mecanizado en el mismo pedazo de tierra, usando el material sobrante de las trincheras como cubierta de celda diaria.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la composición de los residuos sólidos institucionales, vemos que el mayor porcentaje después de los restos de comida es el cartón y papel con un 28.39%, esto se debe a las actividades de oficina que se realizan en las instituciones.

La composición de los residuos comerciales debido a su actividad, tiene su mayor generación en los restos de comida con un 68.80%.

Los residuos provenientes del barrido de calles tiene el mayor porcentaje en el cartón y papel con un 40.32%, esto refleja los malos hábitos de la población en cuanto a la inadecuada disposición de los residuos.

En la composición de los residuos domiciliarios, el mayor porcentaje que se obtuvo fue el de restos de comida con un 40.71%, seguido por el papel y cartón con un 17.50%, composición que es característica de la generación de residuos en los hogares.

Para el método de trinchera, los lixiviados tienen la oportunidad de ser eliminados si se cubre la misma con una estructura de techo, que puede ser movable, mientras la trinchera está en proceso de llenado.

El relleno sanitario semi mecanizado debe de cubrir los residuos sólidos con material inerte y controlar el agua de escorrentía para evitar la generación de lixiviados.

Los acondicionadores de desechos harán la selección de los desechos, colocarán y compactarán los desechos en la zanja, realizarán el volteo de compost y harán trabajos de colocación de llantas como bordillos y jardinería de las instalaciones.

CONCLUSIONES

Durante los cinco días de caracterización se obtuvo una producción per cápita de 0.66 kg/hab/día.

El área total necesaria para la vida útil de 20 años es de 51.2 Hectáreas. Esto incluye 178 trincheras, 2 metros entre cada trinchera para la estabilidad y accesibilidad, 5 metros de profundidad, 4 metros de ancho y 500 metros de largo. La superficie requerida por persona es de 0.29 m²/ habitante/año.

Con una profundidad de trinchera de 5 metros, se obtiene la profundidad óptima, ya que a mayor profundidad se corre el riesgo a un deslizamiento de tierra y a menor profundidad el área superficial expuesta es mayor, lo que puede causar problemas de cierre y recubrimiento con material inerte.

El área superficial anual de la trinchera, aumenta 6.867,96 m²/año del año 2014 al año 2034. Esto debido a que el crecimiento poblacional y el volumen anual aumenta a lo largo de la vida útil del relleno sanitario.

La retroexcavadora deberá tener una potencia de 285 hp, capacidad del cucharón de 2 m³ y un rendimiento de producción de 250 m³/hora.

El cambio de un vertedero semi mecanizado a uno completamente mecanizado permitirá que la ciudad de Jalapa inicie un programa de gestión integral de residuos sólidos. El traslado de una operación simple a una operación de mayor escala, así como el aumento poblacional, dará el tiempo necesario para que la gestión de residuos sea aceptada por la comunidad.

AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

Al Dr. Ing. Adán Pocasangre por su contribución como mentor y asesor, a los catedráticos M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis, y M.Sc. Ing. Jorám Gil de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS); asimismo, se reconoce el apoyo y la colaboración del Dr. Nery Adolfo Campos Polanco, DIRAD Jalapa, a la Municipalidad de Jalapa, y personal del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) en el desarrollo del estudio especial que generó el presente artículo.

BIBLIOGRAFÍA

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.

JARAMILLO, Jorge, *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*, 2002. OPS/CEPIS.

KUNITOSHI, S., *Método Sencillo del Análisis de Residuos Sólidos*, 1981. OPS/CEPIS.

OAKLEY, Stewart M., Dr. *Manual de Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios en Honduras*. 2005. 218 p. USAID.

RAUDALES OSORTO, Rommel, M.Sc. y GRÁDIZ CÁCERES, Marvin, M.Sc. *Modelo de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*, 2012. ERIS/USAC.

TCHOBANOGLIOUS, George. *Gestión integral de residuos sólidos, Volumen 1 y 2*, 1997. McGraw-Hill.

INFORMACIÓN DEL AUTOR:

Ingeniero Civil, **Gustavo Adolfo Figueroa Campos**, graduado 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.

Posgrado en **Desechos Sólidos Hospitalarios** de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental -AGISA- y la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2014.