

# Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio

Juan Antonio Araiza Aguilar <sup>1\*</sup>, Miguel Eduardo José Zambrano

*Fecha de recepción: noviembre de 2014 – Fecha de aprobación: mayo 2015*

## RESUMEN

Una de las causas de la contaminación ambiental en México es el aumento por la generación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Desde los años 50s la producción se ha incrementado en casi 13 veces, pasando de 8,200 a 109,000 t/d. Sin embargo, el eje medular no radica en las grandes cantidades generadas, sino en el trabajo que demanda manipularlas en los ámbitos municipales y estatales. La Recolección es la etapa que más afectaciones pueden llegar a tener. La importancia de dicha etapa radica las erogaciones económicas que se realizan, ya que se estima pueden llegar a representar entre el 50 y 90% de los costos de operación del servicio de limpia. Por lo anteriormente descrito, en el presente documento se realizó la propuesta de mejora del sistema de recolección de los RSU en 2 localidades del municipio de Villaflores (Benito Juárez y Jesús María Garza), Chiapas, empleando datos geográficos en combinación con el análisis espacial basado en un software SIG para lograr la disminución de tiempos en el recorrido, así como en el número total de puntos de toma o esquinas y consumos de combustible. Derivado de este proceso, se aseguró la disminución del número total de contenedores y/o paradas de colecta, pasando de un total de 203 paradas a tan solo 89 en ambas localidades. Así mismo, las cantidades recolectadas de RSU de la situación mejorada pasarán de 6.32 a 37.91 t/d, siendo este tal vez el mayor beneficio por la mejora del sistema de recolección.

**Palabras clave:** ArcGis, contenedor de residuos, recolección de residuos sólidos, residuos sólidos urbanos, sistemas de información geográfica.

## Improvement of solid waste collection service using GIS tools: a case study

### ABSTRACT

One of the causes of environmental pollution in Mexico is the increased generation of Municipal Solid Waste (MSW). Since the 50s production has increased by nearly 13 times, from 8,200 to 109,000 Tons/day. However, the fundamental issue is not the large quantities generated, but rather in the work required in handling municipal and state levels. The collection of MSW is a very important stage. The importance of this step resides the economic cost that are made, as it is estimated could represent between 50 and 90% of the cost of the collection service operation. In this paper was improved the system of collection of MSW in 2 localities of the municipality Villaflores (*Benito Juárez y Jesús María Garza*), Chiapas, using geographic data in combination with the spatial analysis based on GIS software to achieve decrease in the travel times and the total number of stops and fuel consumption. From this process, are reduced the total number of stops from a total of 203 to just 89 at both localities. Also, the quantities collected MSW will increase from 6.32 to 37.91 Tons/day, this being perhaps the greatest benefit by improving the collection system.

**Key Words:** ArcGis, geographic information systems, municipal solid waste, solid waste collection, solid waste collection bins.

---

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México.

\*Autor corresponsal: Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento. Norte. Poniente. s/n. Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 29000. México. Tel.9611768673. Correo electrónico: araiza0010@hotmail.com

**Nota:** El período de discusión está abierto hasta el 1° de septiembre de 2015. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 19, No.2, 2015, ISSN1665-529-X.

## **INTRODUCCIÓN**

Una de las causas de la contaminación ambiental en México es el aumento en la generación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), ocasionado por diversos factores, entre los que se encuentra el crecimiento de la población, los cambios en los hábitos de consumo, la migración o las nuevas costumbres, así como el manejo deficiente de estos residuos por parte de los organismos encargados y de la misma sociedad (Buenrostro y Bocco, 2003; Ojeda y Beraud, 2003).

Se sabe que en la década de los 50s, la generación diaria promedio nacional de RSU era de 8,200 t/d (Hernández *et al.*, 2004), misma que aumento a más de 109,000 t/d para el año 2010 (SEMARNAT, 2014). Lo anterior significa que en seis décadas la producción se incrementó en casi 13 veces, sin embargo, el eje medular del asunto no solo radica en las grandes cantidades generadas, sino en el trabajo que demanda manipular estas cantidades sobre todo en los ámbitos municipales y estatales.

Tavares *et al.* (2008), indican que una de las estrategias que deben de emplearse para minimizar el riesgo al medio ambiente y mejorar la calidad de vida de los centros urbanos, es la del llamado Manejo Integral de los Residuos Sólidos (MIRS), que comprende una serie de acciones asociadas para manipular a los residuos desde su generación hasta su disposición final, incluyendo operaciones intermedias, y donde la etapa o acción que cobra mayor importancia es la recolección.

La recolección consiste en transportar los RSU desde su almacenamiento en la fuente generadora, hasta el vehículo recolector y luego trasladarlos hasta el sitio de disposición final o a la estación de transferencia (SEDESOL, 1997). La importancia de dicha etapa radica en las erogaciones económicas que se realizan, ya que se estima pueden llegar a representar entre el 50 y 90% de los costos de operación del servicio de limpia, con montos que pueden ir desde los \$130.00 hasta incluso por encima de los \$1000.00 por tonelada, dependiendo principalmente de la densidad de población, la cantidad colectada, el estado físico de los camiones, el diseño de las rutas de recolección y diversos gastos de reposición incluidos (SEDESOL, 1996; OPS, 2002; INECC, 2012).

Cifras de 2012 del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), reportan que en México existe un rezago en la etapa de recolección de residuos, ya que tan solo se tiene una cobertura nacional promedio del 83.93%, la cual ha disminuido si se compara con la reportada por la Organización

Panamericana de la Salud (OPS) en 2002 del 86.00%. Así mismo, se indica que la situación tiende a agravarse conforme disminuye el grado de urbanización de las localidades, debido a que en aquellas menores a los 10 mil habitantes, la cobertura de recolección puede llegar a ser de hasta 23.43% (OPS, 2002; INECC, 2012).

En este contexto, los expertos de hoy en día aprovechando el uso extensivo de las bases de datos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), plantean nuevas soluciones al reto de diseñar rutas de recolección de residuos, ya que se ha visto que uno de los principales problemas recae en el mal diseño basado en la experiencia o juicio del proyectista; pues en la mayoría de los casos del contexto nacional, quien diseña las rutas de recolección es el jefe de limpia o los choferes de los vehículos recolectores, los cuales pueden sesgar el ruteo.

Ejemplos documentados de las aplicaciones SIG en varias de las etapas del MIRS las detalla Chalkias y Lasaridi (2011). Específicamente para la etapa de recolección, Santos y Rodrigues (2003), Ghose *et al.* (2006), Gutiérrez (2008), Tavares *et al.* (2008), Chalkias y Lasaridi (2009), han realizado trabajos relevantes, optimizando no solo las rutas de recolección mediante algoritmos específicos, sino también disminuyendo la cantidad de contenedores empleados, hasta incluso modelando el consumo de combustible tomando en cuenta las pendientes o elevaciones de una ciudad y la carga del vehículo recolector.

Dado lo anterior, en el presente documento se plantea realizar la mejora del sistema de recolección de RSU de las localidades de Benito Juárez y Jesús María Garza del municipio Villaflores, Chiapas, empleando herramientas SIG, mejorando con ello el servicio de limpia de las localidades y disminuyendo la proliferación de tiraderos clandestinos, además, se espera que el presente documento sirva de guía y pueda replicarse en otras localidades cercanas.

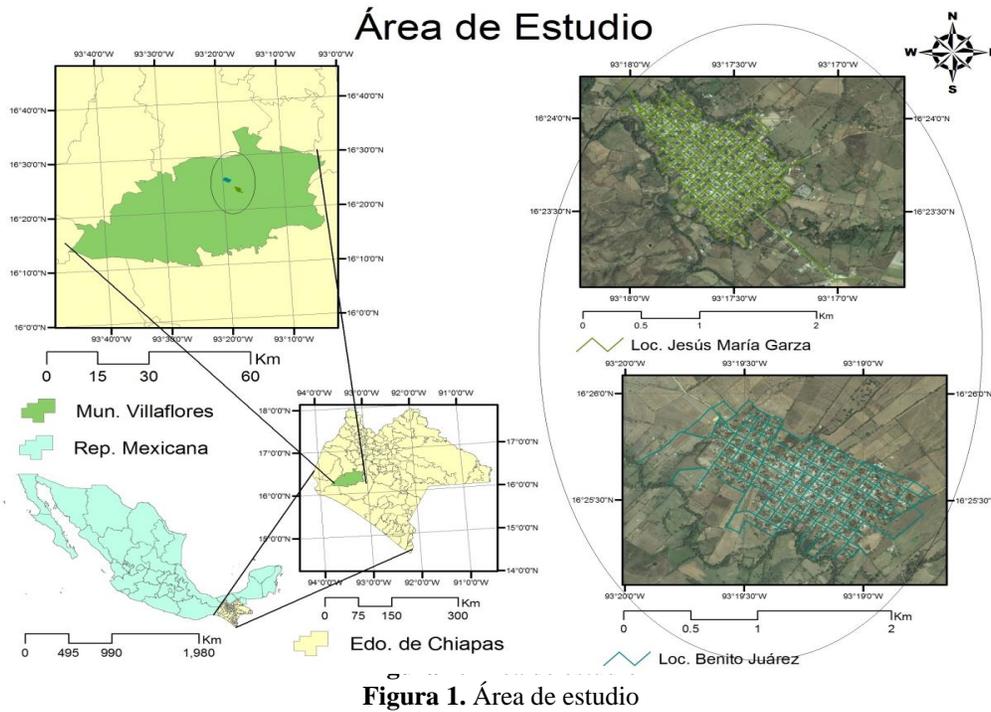
### **Descripción del área de estudio y manejo de residuos sólidos**

Las localidades de Benito Juárez y Jesús María Garza pertenecientes al municipio Villaflores, Chiapas, fueron seleccionadas como casos de estudio. Ambas se ubican sobre la parte norte del municipio, en las coordenadas Lat: 16°25'30.63"N, Long: 93°19'12.94"O y Lat: 16°23'41.64"N, Long: 93°17'32.93"O respectivamente (Figura 1); a una distancia aproximada de entre 28 y 31 km respecto de la cabecera municipal.

Las referidas localidades además de compartir la vía de comunicación principal hacia la cabecera municipal y ser dos de las siete localidades urbanas con las que cuenta el municipio, tienen una estrecha relación debido al vínculo comercial por la venta de productos lácteos, agricultura y otros subproductos. En la actualidad ambas localidades se estima generan 6.32 t/d de RSU, sin embargo, debido a que la frecuencia de recolección es de 1/7 y los días de colecta son los sábados en Benito Juárez y domingos en Jesús María Garza, la cantidad a recolectar puede llegar a ser de hasta 15 t/semana (5 toneladas en Benito Juárez y 10 toneladas en Jesús María Garza).

Las referidas toneladas están siendo colectadas mediante un camión de 20 Yd<sup>3</sup> enviado por el departamento de obras públicas del municipio de Villaflores, el cual solo realiza una sola vuelta por día de servicio para cada localidad, con lo cual en muchas ocasiones los residuos son quemados o depositados en barrancas, en lugar de ser llevados al Sitio de Disposición Final (SDF) más cercano (ver Figura 2).

La información a detalle sobre el proceso de recolección se muestra en la Tabla 1.



**Figura 1. Área de estudio**



**Figura 2. Quema de residuos en área de estudio y depósito en lugares no apropiados**

**Tabla 1.** Datos del proceso de recolección de RSU

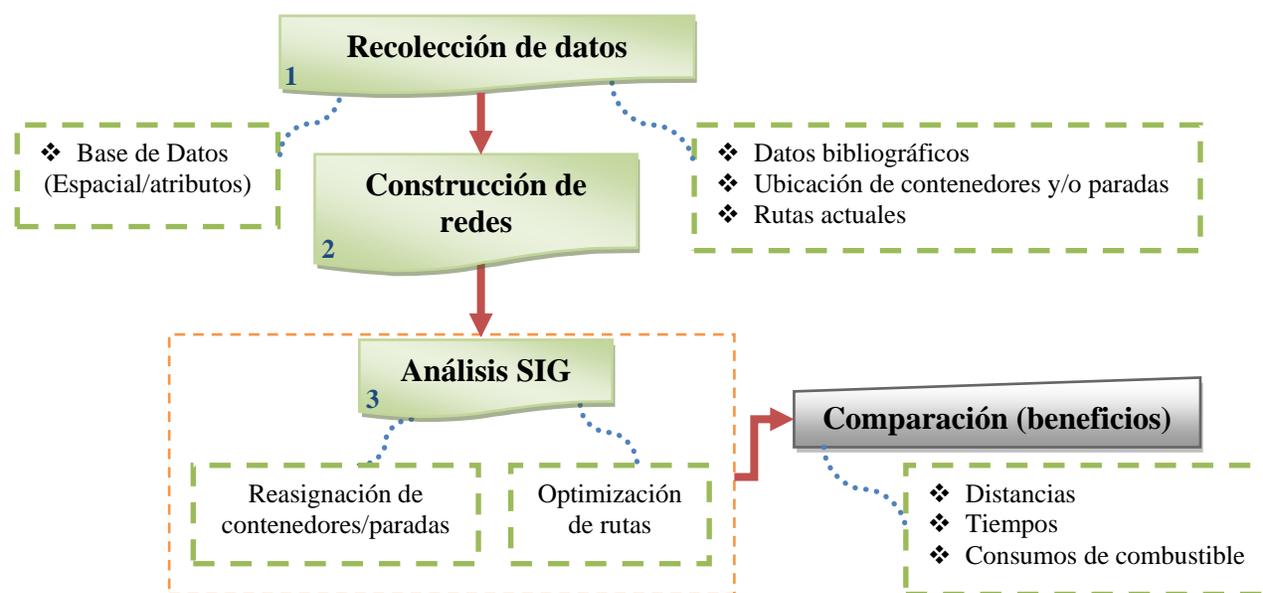
Localidad	Cantidad generada de RSU (t/d)	Población atendida (hab)	Fuentes de generación	No. de paradas	Frecuencia de recolección	Tiempo de colecta (min)	Distancia al SDF (km)
Benito Juárez	2.17	3,746	Domicilios y comercios	57	1/7	192	33
Jesús María Garza	4.15	7,179		146	1/7	306	28

*Nota:* las cifras de RSU y población están calculadas al año 2014 y fueron obtenidas mediante proyecciones realizadas con el método geométrico, empleando una tasa de generación per-cápita urbana de 0.428 kg/hab-d y una tasa de crecimiento de población de 1.23% para Benito Juárez y 1.65% para Jesús María Garza.

**METODOLOGÍA**

En el presente trabajo se emplearon a los SIG para optimizar rutas de recolección de RSU, reduciendo al mínimo el consumo de combustible y aminorando los tiempos y distancias recorridas. La herramienta de análisis principal fue Network Analyst de ArcGis, la cual usa el algoritmo de Dijkstra para buscar las trayectorias más cortas (ESRI, 2014). La metodología comprende 3 fases que se exponen a continuación (Figura 3):

**Recolección de datos:** Esta fase consistió en la adquisición de la traza urbana y vialidades en formato digital, para lo cual se recurrió al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Por otro lado, mediante las visitas a campo y las entrevistas con el personal que opera el sistema de recolección, se obtuvo la descripción de las rutas actuales, así como el número de paradas o esquinas. La tabla 2 muestra la información recopilada.



**Figura 3.** Metodología empleada

**Tabla 2.** Base de datos espacial recopilada

Dato espacial	Tipo	Geometría
Red vial de calles y carreteras de las localidades	Vectorial	Poli línea
Ubicación espacial de paradas o contenedores	Vectorial	Punto
Traza urbana de localidades	Vectorial	Polígono
Rutas de recolección existentes	Vectorial	Poli línea
Atributos de red y restricciones	Tabular	N/A
Datos de población y generación de RSU	Tabular	N/A

**Construcción de redes:** La fase consistió generar las redes de transporte para las localidades ya citadas, lo anterior mediante la acción de New Network Dataset de Network Analyst en ArcGis. Cabe mencionar que antes de generar el Network Dataset, se modificaron o acondicionaron los atributos a la red vial, tales como tiempos, distancias, velocidades y consumos de combustibles (ver Figura 4).

**Análisis SIG:** En esta última fase de la metodología se realizaron una serie de acciones encaminadas a comparar los beneficios que se tendrían con las nuevas rutas de recolección. Las acciones realizadas en esta fase fueron las siguientes:

**Reasignación de paradas:** Como ya se describió en la Tabla 1, en la actualidad se tienen distribuidas por las localidades un cierto número de paradas o puntos de toma (57 en Benito Juárez y 146 en Jesús María Garza), las cuales no necesariamente son las mejores, pues hay casos en los que el vehículo recolector se detiene únicamente por unas cuantas bolsas de residuos, lo que ocasiona pérdidas en demasía de tiempos.

Es de importancia comentar que debido a que las localidades son pequeñas (aunque urbanas según INEGI), muchos de los aspectos manejados en el diseño de rutas de recolección como los sentidos de las calles y el macro-ruteo por ejemplo, no se consideraron al 100%, haciendo un poco más fácil la mejora de rutas, pues solo se trabajó con el micro-ruteo.

Este proceso de reasignación de paradas se realizó tomando en cuenta un horizonte de planeación de 10

años, el método de recolección de parada fija/esquina mediante contenedores de gran tamaño, calles pavimentadas y la generación per-cápita de RSU, así como ciertos factores necesarios de acuerdo a la Ecuación empírica 1.

$$N = W_p \times D / (V \times \rho \times \epsilon) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde “N” es el número de contenedores, puntos de toma o esquinas, “W<sub>p</sub>” es la cantidad promedio generada (al horizonte de planeación) en kg/d de RSU, “D” es el número de días de generación por semana (6 d/semana), “V” es el volumen en m<sup>3</sup> del contenedor propuesto (5m<sup>3</sup>), “ρ” es la densidad de los RSU (120 kg/m<sup>3</sup>) y “ε” es el coeficiente de llenado (0.80).

**Análisis o generación de rutas nuevas:** Posterior a la reasignación de paradas tocó el turno a la modelación o generación de rutas optimizadas. Siguiendo la metodología planteada por Chalkias y Lasaridi (2011), se empleó ArcGis en su versión 10.1, específicamente el módulo de Network Analyst, quien hace uso del algoritmo de Dijkstra clásico para resolver el problema de la trayectoria más corta en un gráfico sin dirección, no negativo y ponderado, para emplearse dentro del contexto de los datos de transporte del mundo real. Cabe resaltar que este algoritmo dentro de ArcGis se ha modificado para respetar las configuraciones del usuario tales como restricciones unidireccionales, restricciones de giro, barreras y restricciones de lado de calle, tratando de minimizar el atributo de costo especificado por el usuario (ESRI, 2014).

FID	Shape	FID_	Meters	Minutes	Oneway	FT_Minutes	TF_Minutes	Hierarchy	Desc_Hierc	Vel_km_x_h
115	Polyline	116	95.065845	0.190132	Ambos Sentidos	0.190132	0.190132	3	Calle secundaria	30
116	Polyline	117	95.13811	0.190276	Ambos Sentidos	0.190276	0.190276	3	Calle secundaria	30
117	Polyline	118	101.921238	0.203842	Ambos Sentidos	0.203842	0.203842	3	Calle secundaria	30
118	Polyline	119	7.215864	0.014432	Ambos Sentidos	0.014432	0.014432	3	Calle secundaria	30
119	Polyline	120	278.268144	0.417402	Ambos Sentidos	0.417402	0.417402	2	Calle primaria	40
120	Polyline	121	313.151509	0.626303	Ambos Sentidos	0.626303	0.626303	3	Calle secundaria	30
121	Polyline	122	106.997422	0.213995	Ambos Sentidos	0.213995	0.213995	3	Calle secundaria	30
122	Polyline	123	101.129756	0.151695	Ambos Sentidos	0.151695	0.151695	2	Calle primaria	40
123	Polyline	124	102.602204	0.153903	Ambos Sentidos	0.153903	0.153903	2	Calle primaria	40
124	Polyline	125	94.271659	0.141407	Ambos Sentidos	0.141407	0.141407	2	Calle primaria	40
125	Polyline	126	100.1144	0.201144	Ambos Sentidos	0.201144	0.201144	2	Calle primaria	40

Figura 4. Modificación de atributos de red.

Reasignación de paradas/puntos de toma

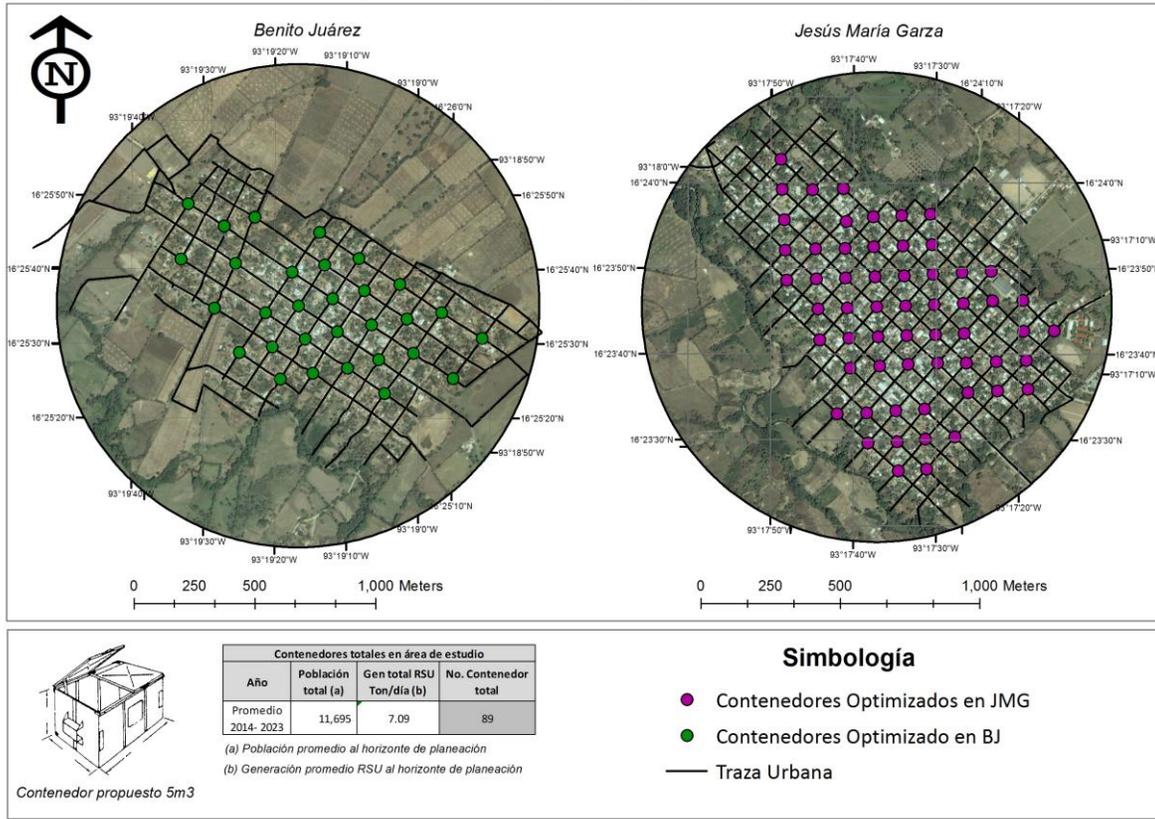


Figura 5. Reasignación de paradas dentro de la red.

Una de las opciones más del software es poder reordenar las paradas para encontrar las rutas óptimas, pudiendo tener 2 posibles variantes: i) reordenar todas las paradas y obtener la ruta óptima o ii) respetar el origen y el destino, reordenando solo las paradas intermedias. Es de notarse que al seleccionar esta última opción, el análisis ya no se considera un problema de la ruta más corta y pasa a considerarse un problema de agente viajero. La opción específica de ruteo empleada en el ambiente de ArcGis fue “New Vehicle Routing Problem”.

**Comparación de tiempos, distancias y consumos de combustible:** En esta última parte correspondiente al análisis SIG, se compararon la situación actual versus la situación con rutas mejoradas, específicamente en relación a las distancias recorridas, los tiempos ocupados en la colecta de residuos y el consumo de combustible.

Cabe recalcar que para realizar el proceso de mejora de rutas, no fue posible emplear una frecuencia de recolección mayor a 1/7, debido a la no existencia de mayor cantidad de vehículos como para aumentar

dicha frecuencia sin afectar la recolección de otras localidades o a la propia cabecera municipal. En relación a la comparación de consumos de combustible, decidió emplearse una función lineal simple basada en las distancias de recorrido, considerando un rendimiento de combustible de 3.5 km/L para un camión tipo de 20 Yd<sup>3</sup>.

**RESULTADOS**

Los resultados del presente estudio muestran la importancia de mejorar el ruteo, pues se aprecia en la tabla 3 que gran parte de los criterios de análisis resultan favorables para la situación mejorada.

Respecto a los puntos de toma, los resultados exhiben que tener mayor cantidad de esquinas a recolectar no es siempre la mejor opción, ya que también pueden presentarse pérdidas de tiempo en demasía. Con la propuesta de puntos de toma que incluye la introducción de contenedores de mayor capacidad y ubicados en lugares estratégicos, se asegura la disminución del número total de contenedores y/o paradas de colecta, pasando de un total de 203 paradas a tan solo 89 en ambas localidades.

**Tabla 3.** Resultados del proceso de mejora de las rutas de recolección

Aspectos de Ruta	Actual		Mejorada	
	B. Juárez	J.M. Garza	B. Juárez	J.M. Garza
Tiempo de recolección en ruta (min/semana-ruta)	192	306	237.17*	212.97*
Distancia recorrida en ruta (km/semana-ruta)	68.50	74.11	69.93*	59.97*
Consumos de combustible en ruta (L/semana)	19.57	21.17	19.97*	17.13*
Tiempos de colecta en punto de toma (min/pto)	2.00	2.00	8.50	8.50
No. de paradas/puntos de toma (No.)	57.00	146.00	30.00	59.00
Frecuencia de recolección (días/semana)	1/7	1/7	1/7	1/7
Número de vueltas por día (Vueltas/d)	1.00	1.00	2.00	4.00
No. De contenedor por vuelta (contenedor/vuelta)	N/A	N/A	15.00	15.00
Cantidad de RSU colectados (Ton/semana)	5.00	10.00	13.00 *	24.91 *
Cobertura de recolección (%)	32.92	34.42	85.58	85.75

*Nota: las comparaciones fueron hechas teniendo en cuenta una semana como intervalo de tiempo pues la frecuencia de recolección es de 1/7, la cual se mantuvo para la situación mejorada, debido a la imposibilidad de cambiarla.*

*- Los valores mostrados con asteriscos son promedios, ya sea del número de vueltas de la situación mejorada (para tiempos y distancias) o promedio de 10 años para la cantidad de RSU recolectada.*

Un dato a señalar es que con la propuesta de mejora fue necesario aumentar el número de vueltas/día en la colecta de residuos, pasando de 1 a 2 en Benito Juárez y de 1 a 4 en Jesús María Garza, lo que trajo consigo modificaciones en los tiempos respecto de la situación actual, siendo de 45 min/semana-ruta el aumento en Benito Juárez y una disminución de 93 min/semana-ruta para Jesús María Garza. Lo anterior, al comparar el tiempo promedio de una vuelta de la situación mejorada, contra el tiempo empleado en la situación actual.

Otros datos de interés generados en el estudio realizado y mostrados en la figura 6, son los tiempos empleados en la modelación, los cuales pueden ser útiles cuando se replique este tipo de estudio; ejemplo de ello son los tiempos muertos establecidos (35 min), que corresponden a carga de combustibles (10 min.) y alimentación de choferes (25 min); tiempos por punto de colecta o esquina, en donde se consideraron 8.5 minutos de vaciado por contenedor (contenedores de 5m<sup>3</sup>), haciendo un total de 127.5 minutos en los 15 contenedores asignados en cada vuelta (a excepción de una vuelta, en la que se colectan 14 contenedores). Así mismo se consideraron 15 minutos de tiempo de descarga de residuos en el SDF.

Por su parte respecto a las velocidades empleadas en el transporte y recolección, éstas variaron dependiendo del tipo de vialidad existente, siendo la asignación de 60 km/h para carreteras y 25 km/h para vías primarias y secundarias. Cabe recalcar que en un estudio de ruteo usualmente deberá de realizarse un

análisis de las vías encontradas en cada localidad, pues no siempre pueden ser consideradas las encontradas bibliográficamente o en estudios similares.

Puntualizando sobre las cantidades recolectadas, estas pasarán de un aproximado de 15.00 t/semana en la situación actual, a 37.91 t/semana en promedio para la situación mejorada, siendo este talvez el mayor beneficio que se tendrá con la mejora del sistema de recolección. Por otro lado, el consumo de combustible disminuirá por cada vuelta realizada en un 23.58% en Jesús María Garza, pues pasará de 21.17 L/semana a 17.13 L/semana; por su parte para Benito Juárez habrá un pequeño aumento del 2.08%, al pasar de 19.57 L/semana a 19.97 L/semana, esto derivado de una mayor cantidad de km recorridos por vuelta para dicha localidad.

Se recalca nuevamente que en las comparaciones anteriores se está empleando un promedio del número de vueltas para la situación mejorada, versus la única vuelta de recolección en la situación actual.

Además de las cifras anteriormente expuestas, en la figura 6 se detallan los tiempos y distancias de cada una de las vueltas que surgieron en el diseño de la propuesta de mejora, los cuales como bien se mencionó, pueden servir de guía cuando se replique este tipo de estudio.

Las rutas de recolección generadas se muestran en la figura 7.

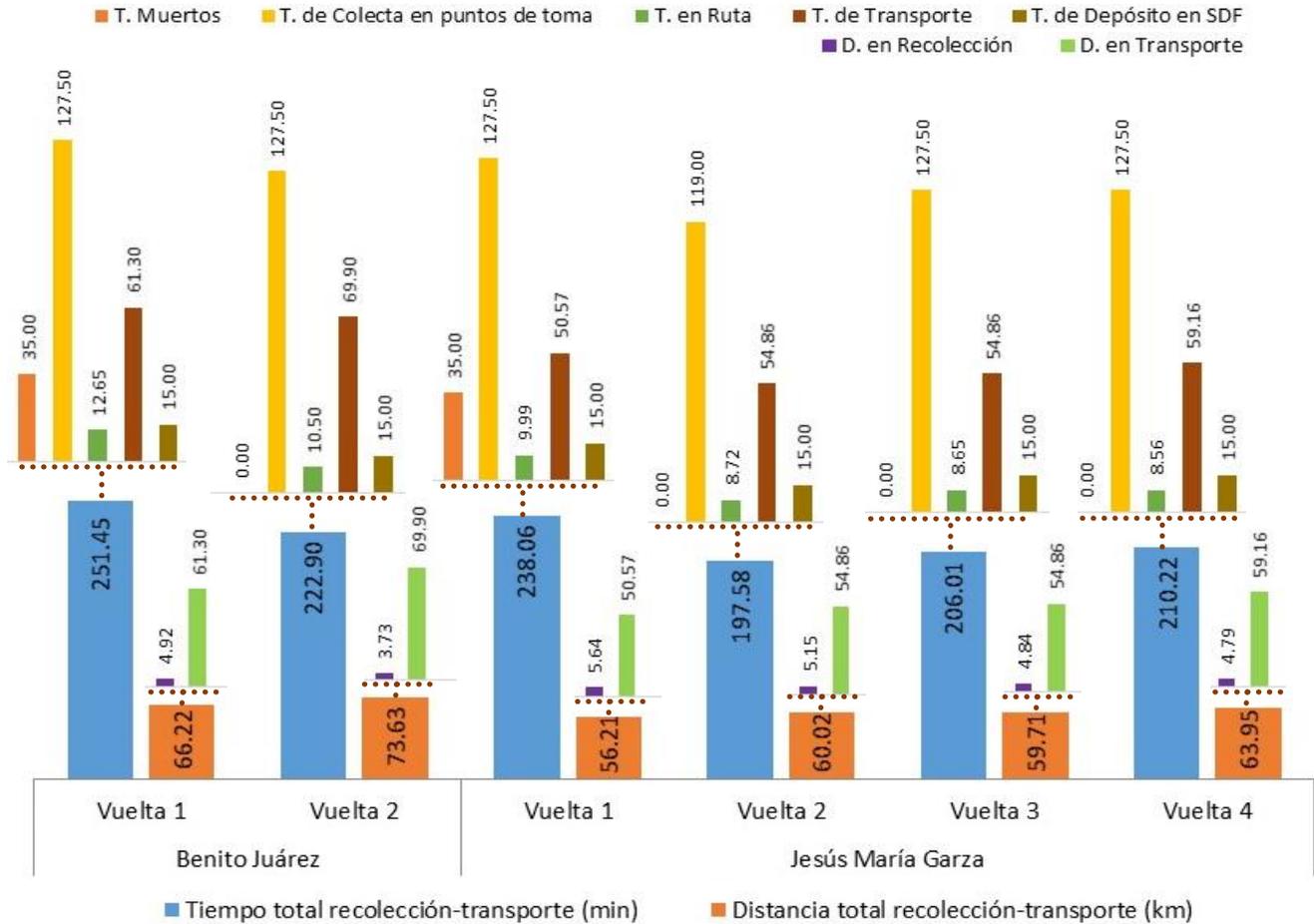


Figura 6. Tiempos y distancias de recorrido por vuelta de recolección en la situación mejorada

**CONCLUSIONES**

El objetivo principal de este trabajo fue la mejora del sistema de recolección de los RSU en 2 localidades del municipio de Villaflores, Chiapas; ya que un mal diseño en el macro y micro-ruteo puede traer consigo graves daños al sistema de colecta, desde desperdicios de tiempo del equipo y personal, reducción en la cobertura del servicio, incremento de los costos, hasta la proliferación de tiraderos a cielo abierto en diferentes puntos de las localidades.

El método propuesto empleó datos geográficos (red de calles y carreteras, la ubicación de los puntos de toma/esquinas o contenedores) en combinación con el análisis espacial basado en un software SIG para la lograr la disminución de tiempos en el recorrido, así como en el número total de puntos de toma o esquinas y consumos de combustible.

Cabe recalcar que de momento en el análisis efectuado se consideró únicamente el equipamiento existente a nivel local (un solo camión recolector además de una frecuencia de recolección de 1/7),

quedando para trabajos futuros el posible uso de equipos no convencionales de recolección (vehículos motorizados por ejemplo), tal y como se ha expuesto en Aquino *et al.*, (1988) y Velásquez R., (2013, 25 de abril).

Respecto a la tecnología SIG, si bien es cierto es un recurso costoso para localidades pequeñas (de menos de 2,500 habitantes) que se encuentren alejadas de centros urbanos de gran tamaño, si ofrece grandes bondades optimizando las rutas de recolección para localidades de más de 2,500 habitantes, ya que minimiza tiempos de cálculo a la vez que evita el sesgo que el ser humano introduce al moldear las rutas a su conveniencia.

No obstante los beneficios que dicha herramienta trae consigo, siempre será necesaria la participación comunitaria en proyectos de esta naturaleza, ya que por ejemplo no sería posible implementar un sistema de contenedores de gran volumen, sin antes hacer conciencia en la población para que el depósito de sus residuos se realice en cada uno de estos recipientes considerados.

## Mejora de Rutas de Recolección

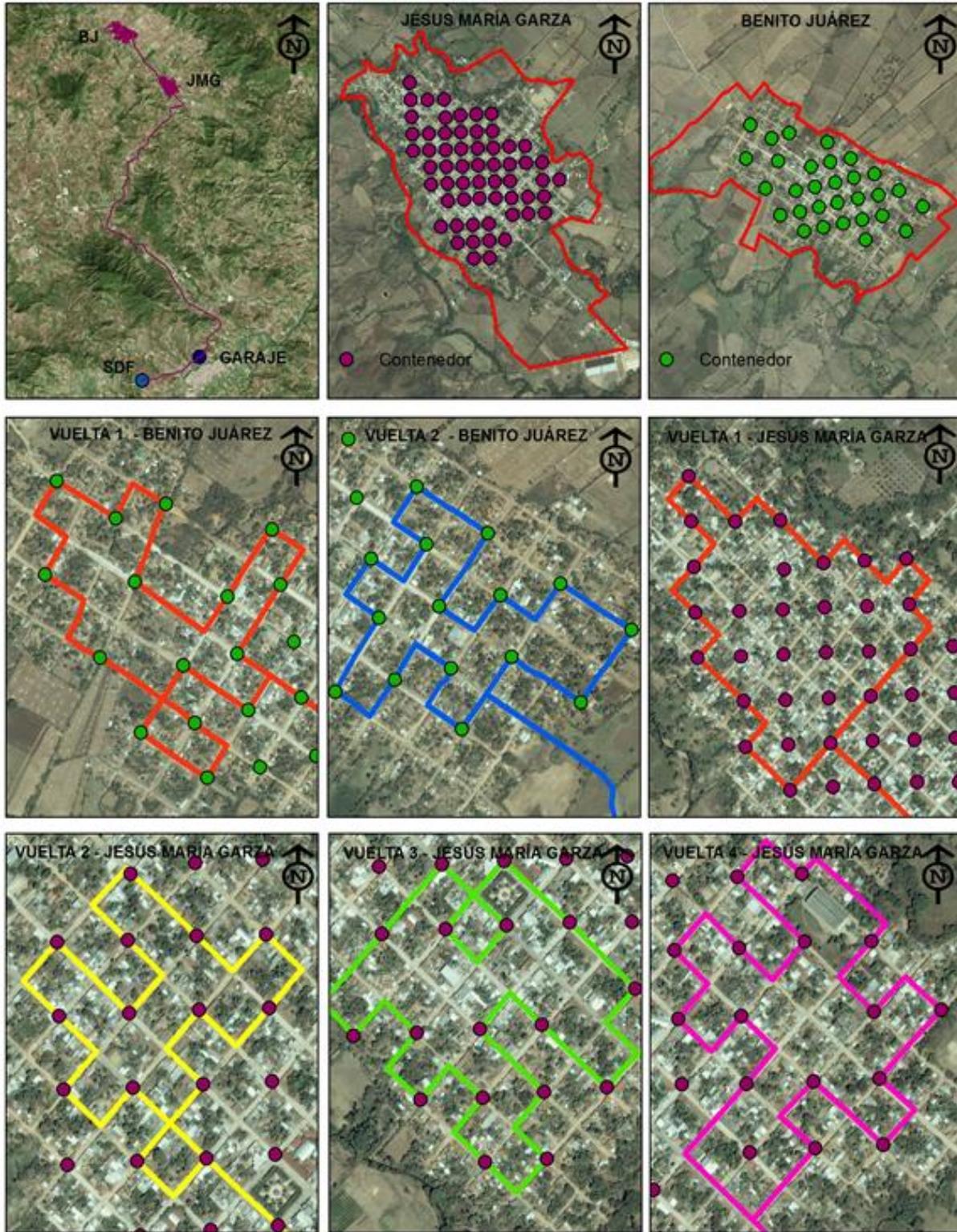


Figura 7. Micro-ruteo en las localidades de estudio

## **BIBLIOGRAFIA**

Aquino, R., Coasaca, J., Alegre, M., Zepeda, F., (1988). Proyecto piloto de recolección de residuos sólidos con métodos no convencionales. Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente, CEPIS, Hojas de divulgación técnica; 44: pp. 1-13.

Buenrostro, O., Bocco, G., (2003). Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. *Resources Conservation and Recycling* 39, pp. 251–263.

Chalkias, C. y Lasaridi, K. (2009). A GIS based model for the optimisation of municipal solid waste collection: The case study of Nikea, Athens, Greece. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Vol. 5, No. 10, pp. 640-650, ISSN 1790-5079

Chalkias, C. y Lasaridi, K. (2011). Benefits from GIS Based Modelling for Municipal Solid Waste Management, *Integrated Waste Management - Volume I*, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-469-6, InTech, DOI: 10.5772/17087. Available from: <http://www.intechopen.com/books/integrated-waste-management-volume-i/benefits-from-gis-based-modelling-for-municipal-solid-waste-management>

ESRI (2014). Algoritmos utilizados por Network Analyst. Disponible en: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/004700000053000000>. [Consultado el 10 de junio de 2014].

Ghose M.K., Dikshit A.K., Sharma S.K. (2006). A GIS based transportation model for solid waste disposal – a case study of Asansol Municipality, *Waste Management*, Vol.26, pp. 1287-1293.

Gutiérrez, F. (2008). Análisis del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando sistemas de información geográfica (SIG). Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Hernández, C., Wehenpohl, G., Heredia, P., de Buen, B. (2004). Guía de Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003. SEMARNAT-GTZ, México, D.F. pp. 57

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. INECC-SEMARNAT, México, D.F. pp 201

Ojeda-Benítez S, Beraud-Lozano JL. (2003). The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal. *Resources Conservation and Recycling*; 39 (3): pp. 239–250

Organización Panamericana de la Salud, OPS (2002). Evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales. Informe analítico de México / Evaluación del año 2002. pp. 38.

Santos, L.A., Rodrigues, J.C., (2003). Implementação em SIG de uma heurística para o estudo da recolha da resíduos sólidos urbanos (GIS implementation of a heuristics for the study of MSW collection). Research Report No. 6/2003. Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC) Coimbra, Portugal.

Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL, s.f. Aspectos Sociales. México.

--- (1996). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales. pp. 139

--- (1997). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales. pp. 50

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (2014). Estadísticas Ambientales en Materia de Residuos Sólidos Urbanos. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales>. [Consultado el 10 de junio de 2014].

Tavares G., Zsigraiova Z., Semiao V., Carvalho M., (2008). A case study of fuel saving through optimization of MSW transportation routes, *Management of Environmental Quality*, Vol.19, No.4, pp. 444-454.

Tavares G., Zsigraiova Z., Semiao V., Carvalho M., (2008). Optimisation of the MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modeling, *Waste Management*, vol. 29, pp. 1176–1185, Oct. 2008.

Velásquez R., (2013, 25 de abril). “Soledad pasa de la fuerza del caballo a los caballos de fuerza”. El Sol de San Luis. Disponible en: <<http://www.oem.com.mx/elsoldesanluis/notas/n2961541.htm>> [Consultado el 18 de enero de 2014].

---

Este documento debe citarse como: Araiza Aguilar J. A., Zambrano M. E. J. (2015). **Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 19-2, pp. 118-128, ISSN 1665-529-X.