

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

“OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS, EN LA ZONA
CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN
CRISTÓBAL DE LAS CASAS,
CHIAPAS

Para obtener el título de:
**LICENCIADO EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

Presenta:
Cristóbal Eduardo Jiménez López

Directores de tesis:
**Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar
Dr. José Manuel Gómez Ramos**



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

marzo 2021



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Fecha: 22 de marzo de 2021

C. **Cristóbal Eduardo Jiménez López**

Pasante del Programa Educativo de: **Ingeniería Ambiental**

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

**“Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos, en la zona
centro de la ciudad de San Cristóbal de Las casas, Chiapas”.**

En la modalidad
De:

TESIS

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Dr. Ulises González Vázquez

Firmas:

Ccp. Expediente

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado con todo mi cariño y mi amor a mis padres por ser las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme palabras de aliento. Papá y Mamá los quiero con todo mi corazón y este trabajo que con mucho esfuerzo logre culminarlo, es para ustedes, aquí está reflejado todo el sacrificio que hicieron por mí.

A Paty, mi madre, quien sigue enseñándome a salir adelante, quien me inspiró a querer ser un hombre de bien.

A Eloy, mi padre, a quien admiro por su inteligencia y su sabiduría, un ejemplo a seguir.

A Gabriela y Eloy, mis hermanos, mi razón de ser, quienes nunca han estado fuera de mi alma, la mayor fuerza que me ha permitido estar de pie en momentos difíciles.

A aquellos amigos y amigas que me acompañaron, acompañan y aportan, a este proyecto que es mi vida, enseñanzas, vivencias y amor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Ciencias y artes de Chiapas, por mi formación y brindarme el privilegio de ser universitario.

Agradezco al Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar, quien me brindó su amistad y apoyo, me compartió sus conocimientos y me orientó sabiamente durante el desarrollo de este proyecto, y cuando las cosas no salían bien nunca perdió la fe en mí, logrando motivarme para salir adelante, mi amistad, admiración y respeto estarán para él siempre.

Agradezco al Mtro. Ulises González Vázquez y al Dr. José Manuel Gómez Ramos, quienes me compartieron sus conocimientos y me brindaron todo el apoyo necesario para realizar este proyecto.

A la Dirección de Aseo Urbano del Municipio de San Cristóbal de las Casas; Chiapas por las facilidades que me brindaron en la realización del trabajo de campo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I	8
1. MARCO CONTEXTUAL	8
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.4 ZONA DE ESTUDIO.....	12
1.5 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	13
CAPÍTULO II.....	16
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. MANEJO DE RSU.....	16
2.1.1¿QUÉ SON LOS RESIDUOS Y LOS RSU?	16
2.1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	16
2.1.3. ETAPAS DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDO URBANOS.....	17
2.2 RECOLECCIÓN DE RSU.....	18
2.2.1 FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN	18
2.3 MÉTODOS DE RECOLECCIÓN	18
2.3.1 MÉTODO DE ESQUINA O PARADA FIJA.....	18
2.3.2 MÉTODO DE ACERA.....	18
2.3.3 MÉTODO DE “LLEVAR Y TRAER”	18
2.3.4 MÉTODO DE CONTENEDORES.....	19
2.4 RUTEO DE VEHÍCULOS.....	19
2.5 MÉTODOS DE SOLUCIÓN	19
2.5.1 MÉTODOS EXACTOS.....	19
2.5.1.1 ALGORITMO DE BRANCH & BOUND	19
2.5.2 MÉTODOS APROXIMADOS	20
2.5.2.1 ALGORITMOS DE ENJAMBRE.....	20
2.5.2.2 ALGORITMOS EVOLUTIVOS.....	21
2.5.2.2.1 SISTEMAS INMUNES ARTIFICIALES.....	21

2.5.2.3 ALGORITMOS DE BÚSQUEDA LOCAL.....	21
2.5.2.3.1 BÚSQUEDA TABÚ (<i>TABU SEARCH</i>).....	21
2.5.2.4 ALGORITMOS CONSTRUCTIVOS.....	22
2.5.2.5 ALGORITMOS DE DOS FASES.....	22
2.5.2.5.1 EL ALGORITMO DE BARRIDO (<i>SWEEP ALGORITHM</i>).....	22
2.5.2.5.2 ALGORITMOS DE LOS PÉTALOS (<i>PETAL ALGORITHMS</i>).....	22
2.5.2.6 ALGORITMOS HÍBRIDOS.....	23
CAPÍTULO III.....	25
3. METODOLOGÍA.....	25
3.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS.....	25
3.2 ANÁLISIS DEL MÉTODO Y RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS.....	26
3.3 REVISIÓN DE MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU, Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS.....	27
CAPÍTULO IV.....	29
4. RESULTADOS.....	29
4.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS.....	29
4.2 MÉTODO Y RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS.....	30
4.3 PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN.....	33
4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	38
4.6 COMENTARIOS FINALES.....	38
CAPITULO V.....	41
5. ANEXOS.....	41
5.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS.....	41
5.2 HOJA DE CALCULO SOLVER.....	44
CAPITULO VI.....	47
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

INTRODUCCIÓN

En la literatura existen muchos casos de estudio aplicados a la recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), en los cuales el objetivo es tener una mejora en la eficiencia del servicio. Victoria (2005) menciona que en la mayoría de los casos las rutas de recolección se diseñan de manera intuitiva, resultando tiempos y distancias recorridas mayores, por lo que el costo del servicio también se incrementa. La población también contribuye con este problema al depositar sus residuos en lugares inadecuados para su recolección, haciendo que la recolección de estos mismos se convierta en un proceso complejo y obligando a los camiones a detenerse por más tiempo y recorrer un trayecto más largo de lo necesario.

De acuerdo con el informe del Banco Mundial “What a Waste 2.0” en el mundo se generan anualmente 2010 millones de toneladas de desechos sólidos municipales, y al menos el 33% de ellos no se gestionan sin riesgo para el medio ambiente (Kaza *et all 2018*).

La generación de RSU, en la actualidad, se ha convertido en un aspecto crítico, debido a que la recolección y el transporte son las actividades más costosas del servicio de aseo urbano, representando entre el 80 y 90% del costo total del servicio (Carpio, 2009).

El propósito de este trabajo es optimizar las rutas de recolección de la zona centro de la cabecera municipal de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, para minimizar la distancia recorrida y el tiempo empleado en la recolección, haciendo una matriz de decisión para elegir el método que mejor se adapte a las condiciones del sitio de estudio.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL

CAPÍTULO I

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial, aunado a las costumbres de la población orientadas al consumismo, además de la tendencia a emigrar de zonas rurales a urbanas (Gutiérrez, 2008), en México el manejo de los RSU representa un gran reto.

La urbanización trae consigo cambios culturales, cambio en las conductas reproductivas y en los patrones de consumo que se reflejan inmediatamente en la composición de los residuos generados. Los cambios en el estilo de vida y en los patrones de consumo de la población, trajo como consecuencia que las características y composición de los flujos de residuos, experimentarán cambios importantes en los últimos años, que de ser densos y casi completamente orgánicos, pasaron a ser voluminosos y menos biodegradables (Quadri *et al.*, 2003).

Los gobiernos locales de las zonas urbanas enfrentan una demanda creciente para el servicio de recolección de residuos y a su vez tienen dificultades para responder rápidamente a estas demandas (Bernache, 2015), dado que el volumen de RSU ha llegado a tales niveles de producción, lo cual constituye uno de los principales problemas al que se enfrentan los municipios (Zafra, 2009), esto principalmente en las grandes ciudades y sus zonas metropolitanas.

La recolección y el transporte de los RSU serían de las actividades de mayor importancia, dado los costos y disponibilidad de infraestructura correspondiente, así como a la prevención que tiene hacia la dispersión de residuos al ambiente (INECC, 2012).

En la Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Chiapas y sus municipios 2019, menciona que en el Estado se generan en promedio 5 188 toneladas diarias de residuos, de las cuales 3 891 toneladas son de RSU y 1 297 toneladas corresponden a residuos de manejo especial, lo que coloca al Estado en el décimo lugar en generación de residuos a nivel nacional. Así también, el manejo de los residuos en Chiapas se complica por la orografía, la dispersión poblacional y la alta marginación.

Las rutas de recolección, en vez de ser creadas a partir de un estudio técnico, en la mayoría de los casos, se diseñan de manera intuitiva, en consecuencia, los tiempos y los costos generados llegan a ser superiores (Victoria, 2005; tomado de Racero y Pérez, 2006).

Un factor a considerar que contribuye con el problema es la misma población, ya que al dejar sus residuos en cualquier parte los procesos de recolección se complican obligando a que el personal encargado de la recolección recorra más distancia lo que conlleva a que el tiempo de recolección se incremente (Victoria, 2005; tomado de Racero y Pérez, 2006).

San Cristóbal de Las Casas. Chiapas, al ser reconocido como “Pueblo Mágico”, recibe una gran cantidad de turistas, tanto nacionales como internacionales, la zona centro sería la parte con más auge por los visitantes y también para las personas que viven en la ciudad, pero como se aprecia en las figuras 1, 2, 3, los RSU almacenados en los puntos asignados para su alojamiento temporal en lo que son recolectados, representan una mala imagen para la zona y ciudad, al afectarse la calidad paisajística (contaminación visual) y poder representar puntos de infección para la ciudadanía (residentes y visitantes). Ante ello, cualquiera mejora que pueda proponerse en el servicio de recolección será ampliamente favorable y justificable.



Figura 1. Punto de Recolección de RSU en Andador Turístico del Carmen.



Figura 2. Camión recolectando RSU en Andador Turístico del Carmen.



Figura 3. Punto de Recolección de RSU, calle Flavio A. Paniagua esquina con calle Huixtla.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La LGPGIR (2003) menciona en su Título Segundo Capítulo Único artículo 10 que: “los municipios tiene a cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consiste en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final”.

El municipio, con la prestación del servicio de limpia, tiene como objetivo proteger la salud pública y el medio ambiente, sin embargo, los objetivos del estado y sobre todo del organismo operador del servicio son: proteger la salud pública y el medio ambiente al menor costo (SEDESOL, 2013).

“Principalmente las autoridades municipales son las más indicadas para elaborar un marco general de información o diagnóstico con el cual se reconozcan y definan los problemas relacionados desde la generación hasta la disposición final de los desechos sólidos, dando las pautas a seguir para una correcta planeación de las acciones entre los agentes involucrados en la prestación del servicio del aseo urbano” (SEDESOL, 2004).

Desde el punto de vista económico, entre un 60 y un 70% del costo total del servicio se destina a la recolección, explicado por el elevado costo de los equipos, de su operación y manutención y de su mano de obra involucrada, así mismo, se debe contar con un sistema de recolección y eliminación de residuos sólidos eficiente y bien organizado, sin él, ratas, moscas e insectos portadores potenciales de enfermedades invadirían la ciudad (Narea M., 2008). Por lo tanto, los servicios de recolección deber ser revisados y mejorados con frecuencia.⁶

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Optimizar las rutas de recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Llevar a cabo el estudio de tiempos y movimientos de las rutas de recolección de RSU de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.
- ✓ Analizar el método y las rutas de recolección de RSU de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

- ✓ Revisar los métodos de optimización de rutas de recolección de RSU, y generar una propuesta para la optimización de las rutas actuales.
- ✓ Elaborar un mapa con las rutas del sistema de recolección optimizado de la cabecera municipal de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

1.4 ZONA DE ESTUDIO

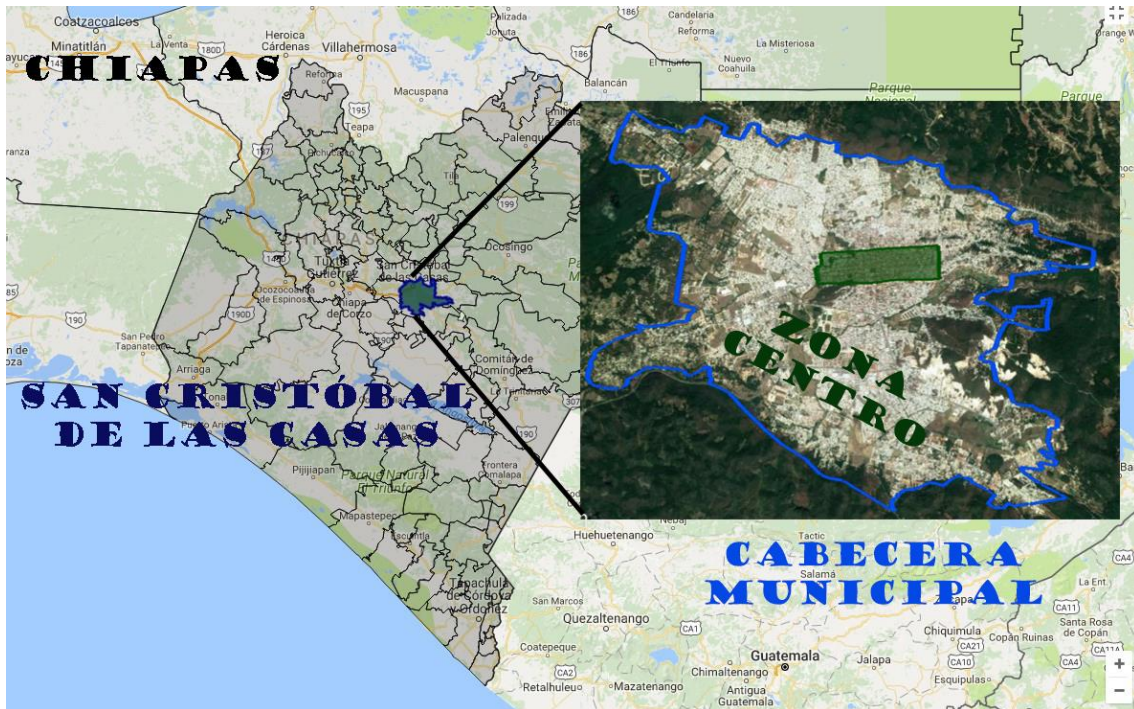


Figura 4. Zona de estudio, zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Elaboración propia con ayuda de Google Earth.

El municipio de San Cristóbal de Las Casas se localiza en el Altiplano Central, siendo dos tercios de su superficie montañosa, el resto lo ocupa un extenso valle. Las coordenadas geográficas son 16°45' Latitud Norte y 92°38' Longitud Oeste con una altitud de 2,120 msnm (INEGI, 2005).

Limita al norte con los municipios de Chamula y Tenejapa, al este con Huixtán, al sur con Teopisca, al suroeste con Totolapa, Chiapilla y San Lucas y al oeste con Zinacantán. Las principales corrientes son los ríos Amarillo y Fogótico y los arroyos Chamula, Peje de Oro y Ojo de Agua. Del Valle de San Cristóbal desembocan en los sumideros, conductos por donde penetran al subsuelo, volviendo a la superficie en el municipio de San Lucas para formar el Río Frío. Otros recursos son las lagunas Chapultepec y de Cochi (INAFED 2010).

1.5 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente la cabecera municipal de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, cuenta con un total de 70 rutas de recolección, 20 vehículos recolectores y de los cuales, 16 son camiones compactadores con capacidad de 8 toneladas y 4 son camiones tipo volteo; el número de personas por vehículo en los camiones compactadores es de un chofer y dos ayudantes, y en los camiones tipo volteo es de un chofer y tres ayudantes, el consumo de combustible es de 3L por cada Km recorrido aproximadamente debido a las condiciones y al desgaste que han tenido los vehículos. El método de recolección varía en las diferentes rutas, aunque en la mayoría de ellas se emplea el método de “esquina o parada fija”, siendo los trabajadores de limpieza municipal los que depositan la basura de los puntos de recolección al camión recolector.

Los horarios de recolección son de 6 am a 2 pm y de 1 pm a 9 pm, la frecuencia de recolección varía conforme a la zona, por ejemplo, en la zona centro es diaria, en zonas cercanas al centro de la ciudad es de tres veces por semana y en zonas que están a la orilla de la ciudad la frecuencia de recolección es de dos veces por semana.

Referente al Sitio de Disposición Final (SDF) que actualmente opera, se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 16°41'54.34" Latitud Norte y 92°35'8.88"O" Longitud Oeste, anteriormente la ciudad contaba con un sitio controlado en donde se depositaba todos los residuos generados que actualmente no se encuentra en operación, Figura 5. Ambos sitios de disposición final colindan al Norte con la localidad del Aguaje y Agua de pajarito, al Este con la localidad Corazón de María, al Oeste con el Arcotete y al Sur con la localidad del Cagual y el área natural protegida Rancho Nuevo

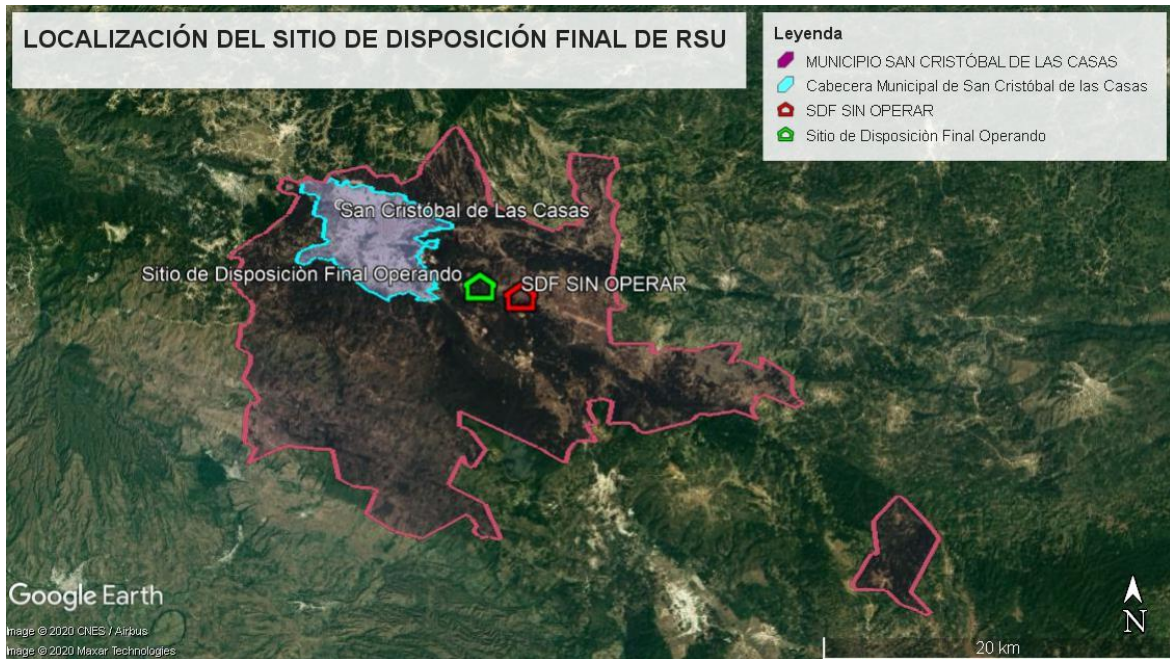


Figura 5. Localización de los sitios de disposición final de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Elaboración propia con ayuda de Google Earth.

El Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (INECC, 2012) menciona que la cobertura nacional promedio de recolección es de 83.93%. En la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas en el año 2017 la generación de residuos asciendía a poco más de 214.16 T/día (SEMAHN, 2017), en la actualidad se genera una cantidad de 280 Ton/día de RSU (H. Ayuntamiento de SCLC, 2020) siendo su cobertura de recolección un 63.5% (PEPGIR, 2003); con lo anterior se estaría considerando una cantidad de poco más de 72 toneladas de RSU que se estarían quedando fuera del SDF oficial, por lo que cualquier mejoramiento a las rutas de recolección impactaría por un lado, en incrementar la cobertura de recolección de RSU, y por otro, en menores costos operativos al reducirse el consumo de combustible y el desgaste de los vehículos recolectores, lo que conllevaría a mejorar el manejo de los RSU de la ciudad.

CAPÍTULO II

MARCO CONTEXTUAL

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Cuando se habla de rutas de recolección debemos tener en cuenta que esto involucra un gran número de aspectos, ya que es una actividad que considera tanto las características naturales y demográficas de la ciudad como la topografía, vialidades, concentración de población, habitantes, comercios, cantidad de residuos, etc., como las características y condiciones del personal y equipo con el que se cuenta (Gutiérrez, 2008).

2.1. MANEJO DE RSU

2.1.1 ¿QUÉ SON LOS RESIDUOS Y LOS RSU?

Existen diferentes definiciones que se han realizado para establecer qué son los residuos, cada una de ellas contiene distintos matices que distinguen y clasifican los residuos en sí mismo. Por ejemplo, Alvarado (2009), los define como un conjunto de materiales de desechos producidos en el ámbito de las actividades humanas; en tanto que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR. 2003), define en su artículo 5 fracción XXXIII a los RSU, como: “Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y de los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”; por su parte Bernache (2015), hace una definición más objetiva y delimitada en relación de los RSU, los define como el cúmulo de basura, desechos, restos y sobrantes que producen los habitantes y las actividades productivas en el territorio que corresponde a una jurisdicción municipal.

En general todas las definiciones engloban a los residuos sólidos como materiales indeseables para quien lo generó, y con la necesidad de deshacerse de ellos.

2.1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los RSU son los generados en casa habitación, resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos

consumidos como de sus envases, embalajes o empaques que provengan de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o de la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no se consideren residuos de otra índole (LGPGIR, 2003).

2.1.3. ETAPAS DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDO URBANOS

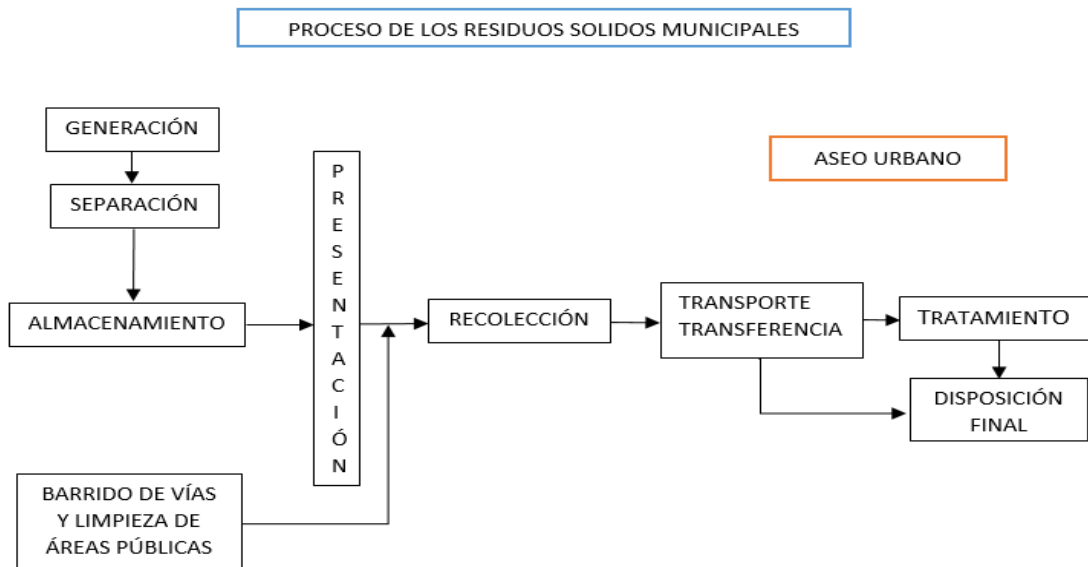


Figura 6. Proceso de los residuos sólidos municipales y el aseo urbano, modificado de: guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales 1991.

El manejo de los RSU consta fundamentalmente de las siguientes actividades: separación, almacenamiento, presentación para su recolección, recolección, barrido, transporte, tratamiento y disposición sanitaria final, siendo esta última imprescindible en el manejo de los residuos. Las primeras dos actividades son responsabilidad del usuario o generador de los residuos sólidos, las demás son competencia del municipio o de la empresa encargada de este servicio (Figura 6). En los países en desarrollo, el aseo urbano es uno de los problemas de saneamiento del medio que está exigiendo una mayor atención por parte de las autoridades gubernamentales, así como de las entidades de financiamiento y de investigación (Jorge-Jaramillo, 1991).

2.2 RECOLECCIÓN DE RSU

2.2.1 FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN

La frecuencia resulta de las decisiones previas a tomar en la recolección; mientras menor sea la frecuencia, más económica es la recolección. En América Latina es un lujo innecesario la recolección diaria por su alto costo y es riesgosa para la salud la frecuencia menor a dos veces por semana (SEDESOL, 2004).

2.3 MÉTODOS DE RECOLECCIÓN

Definir el método de recolección sería el primer paso a seguir en cuanto al diseño de las rutas de recolección se refiere, el cual depende tanto de las características de la localidad como de los usos y costumbres de la población, así como de la zona en la que se realice la recolección (SEDESOL, 2004).

2.3.1 MÉTODO DE ESQUINA O PARADA FIJA

Aquel mediante el cual los usuarios del sistema llevan sus recipientes hasta donde el vehículo recolector se estaciona para poder prestar el servicio de recolección, este método resulta ser el más económico (Gutiérrez, 2008).

2.3.2 MÉTODO DE ACERA

Cuando el usuario debe sacar su recipiente a la banqueta cuando es avisado con anticipación por un claxon o campana, el vehículo recolector hará paradas por cada recipiente pasando lentamente para que el empleado encargado tenga el tiempo suficiente para vaciar y depositar el recipiente en donde lo recogió, posteriormente, el usuario se encarga de retornar el recipiente vacío al interior de su domicilio (SEDESOL, 2013).

2.3.3 MÉTODO DE “LLEVAR Y TRAER”

También conocido como intradomiciliario, en este caso, los operadores de recolección entran al domicilio por los recipientes, regresándolos, una vez vaciados en camión recolector, al mismo sitio de donde los tomaron, este método resulta ser más costoso que el método de acera y aún más que el método de esquina (Gutiérrez, 2008).

2.3.4 MÉTODO DE CONTENEDORES

Al igual que el método de esquina o parada fija, el vehículo recolector debe detenerse en ciertos puntos determinados para llevar a cabo la prestación del servicio, este método se utiliza para la recolección en centros de gran generación o difícil acceso (Gutiérrez, 2008).

2.4 RUTEO DE VEHÍCULOS

En esencia el problema de recolección de residuos es un problema tipo ruteo de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés *vehicle routing problem*) que consiste en asignar rutas a un conjunto de vehículos para recolectar los residuos de los clientes bajo ciertas restricciones (Beliën *et al.*, 2012).

Es un problema de optimización combinatoria de gran importancia en diferentes entornos logísticos, consiste en servir una serie de clientes ubicados geográficamente de manera dispersa, para atenderlos se cuenta con una flota de vehículos que parten desde un depósito central, el problema consiste en asignar a cada vehículo una ruta de clientes, de manera que se minimice el costo de transporte (Jaque, 2008).

2.5 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Desde que se estudió por primera vez el problema de rutas de vehículos, han sido propuestos numerosos métodos para su resolución.

Dichos métodos se pueden clasificar en dos grandes grupos: algoritmos exactos y algoritmos aproximados. Los primeros, buscan una solución óptima, pero tienen el inconveniente de que suelen requerir tiempos de ejecución muy elevados que aumentan exponencialmente con el número de clientes a visitar, lo que dificulta enormemente su aplicación práctica. Los segundos, por su parte, dan una solución suficientemente buena (aunque no la óptima) en tiempos de ejecución menores (Quintanilla, 2015).

2.5.1 MÉTODOS EXACTOS

2.5.1.1 ALGORITMO DE BRANCH & BOUND

Entre los métodos exactos se destacan los algoritmos de ramificación y acotación, (en inglés Branch & Bound, abreviado B&B), este es un algoritmo de propósito general en el que se realiza una sistemática enumeración de las soluciones; subconjuntos de la solución son evaluados respecto a su contribución a la función

objetivo, se definen unas cotas inferiores y superiores para cada problema, dependiendo del valor de estas cotas calculado para cada posible subconjunto de solución se decide si se ramifica o no el árbol de soluciones (Jaque, 2008).

Existe también el algoritmo Branch & Cut el cual, además de generar la enumeración, también limita la búsqueda estableciendo planos de corte (Cordeau *et al.*, 2007). Por otro lado, la combinación del algoritmo de generación de columnas con el B&B origina el algoritmo conocido como *Branch and Price* (B&P) (Jaque, 2008).

2.5.2 MÉTODOS APROXIMADOS

Debido a la complejidad del VRP, diferentes métodos aproximados han sido propuestos, aunque no garantizan encontrar la solución óptima brindan una muy buena solución al problema, estos métodos son conocidos como heurísticos (Jaque, 2008).

2.5.2.1 ALGORITMOS DE ENJAMBRE

Los algoritmos enmarcados en inteligencia de enjambres, son métodos bioinspirados generalmente en el comportamiento de colonias de insectos, como hormigas, abejas, termitas. Estos algoritmos replican la sinergia que presentan estos sistemas en los que el comportamiento colaborativo de los integrantes del enjambre les permite desarrollar tareas (Jaque, 2008).

Algoritmos de Hormigas (*Ant Algorithms*). Los algoritmos más usados son Algoritmo de optimización de enjambre de hormigas (ACO), en donde se imita el comportamiento de las hormigas en la búsqueda de alimento siguiendo las mejores rutas desde la colonia; para ello, las hormigas dejan un rastro de feromonas, este tiende a desaparecer en rutas más largas, mientras que en las cortas la concentración es mayor y por ende la atracción del enjambre en general. (P. Toth *and* D. Vigo, 2002).

El modo de funcionamiento de estos algoritmos se resume así: se inicializa el algoritmo colocando una hormiga en cada nodo. Para la construcción de caminos, se utiliza una regla probabilística que asigna una probabilidad igual a cero si el nodo ya fue visitado y diferente a cero para el caso contrario. La hormiga visita el nodo que tenga una probabilidad mayor. En cada arco, se actualiza la “feromona” y finaliza si se obtiene una solución inferior a una cota preestablecida, de lo contrario se recalculan probabilidades y la hormiga sigue construyendo soluciones (Rocha *et al.*, 2011).

2.5.2.2 ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Originalmente propuesto por Holland en 1975, son procedimientos basados en la sobrevivencia de organismos con mayor adaptación a su entorno (Patiño *et al.*, 2015).

En este tipo de algoritmos se define una población de individuos (cromosomas), cada uno de ellos representa una solución al problema, nuevas poblaciones son creadas en cada generación a través de operadores de cruce en el que se combinan partes de los cromosomas padres para crear un nuevo individuo, tienen mayor probabilidad de reproducción los individuos con mayor adaptación, también existen operadores de mutación que realizan pequeñas variaciones al individuo, procedimiento que ayuda a diversificar el espacio de búsqueda. El criterio de adaptación que se aplica sobre cada individuo representa la función objetivo y restricciones del problema, los individuos con mayor adaptación tienen mayor probabilidad de pasar a la siguiente generación (elitismo) (Jaque, 2008).

2.5.2.2.1 SISTEMAS INMUNES ARTIFICIALES

Se basan en la capacidad de sistemas inmunológicos para identificar cuerpos extraños o patógenos y la memorización de su estructura para efectuar una respuesta rápida en el futuro. Para ello existen dos tipos de células, la primera se encarga de la producción de anticuerpos que reconocen grupos específicos de patógenos; la segunda, identifica y elimina patógenos, además, estimula el funcionamiento del primer tipo de células (Mrówczyńska, 2011)

2.5.2.3 ALGORITMOS DE BÚSQUEDA LOCAL

Los métodos de mejora intentan mejorar la calidad de cualquier solución factible realizando una serie de intercambios de vértices, ya sea dentro de una misma ruta o entre distintas rutas de vehículos. (Quintanilla, 2015).

Son métodos de mejora iterativa en los que generalmente se define una solución inicial o semilla, se define una estructura de vecindario (soluciones comunes por el criterio de vecindario establecido), de manera iterativa se exploran los vecindarios evaluando la contribución a la función objetivo de cada solución tendiendo a maximizar o minimizarla, según corresponda (Jaque, 2008).

2.5.2.3.1 BÚSQUEDA TABÚ (*TABU SEARCH*).

Consiste en realizar una búsqueda local aceptando soluciones que mejoran el comportamiento del costo de tal manera que en cada iteración al algoritmo se

mueve de una solución (st) a otra mejor ($st+1$) dentro de un subconjunto de soluciones cercanas. (Olivera, 2004).

2.5.2.4 ALGORITMOS CONSTRUCTIVOS

También se han propuesto heurísticas constructivas, exclusivas para el problema de enrutamiento de vehículos, quizás el método más conocido es el algoritmo de ahorro de Clarke and Wright, este método se basa en la noción de ahorro que se puede presentar al fusionar dos rutas (P. Toth and D. Vigo, 2002).

El algoritmo de los ahorros de Clarke y Wright se aplica generalmente a problemas para los cuales el número de vehículos es una variable de decisión, calcula el mayor ahorro en distancia, al utilizar los arcos. Si en una solución se encuentran dos rutas diferentes y estas dos rutas pueden ser combinadas para obtener una nueva en la cual se encuentre mayor ahorro en sus arcos entonces se utilizará esta nueva ruta (Olivera 2004).

2.5.2.5 ALGORITMOS DE DOS FASES

Se han propuesto algoritmos de dos fases, los cuales primero realizan un agrupamiento para después aplicar otro método para la asignación de las rutas a los vehículos, entre estos algoritmos se destaca el algoritmo de barrido y el algoritmo de pétalo (Jaque, 2008).

2.5.2.5.1 EL ALGORITMO DE BARRIDO (*SWEEP ALGORITHM*)

Consiste en formar inicialmente agrupamientos girando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando los clientes hasta violar la restricción de capacidad. Una ruta de vehículos es obtenida para el cluster resolviendo un TSP. En algunos casos de implementación es necesaria una fase de post-optimización en la cual los vértices se intercambian entre clusters adyacentes y las rutas son re-optimizadas (Rocha *et al.*, 2011).

2.5.2.5.2 ALGORITMOS DE LOS PÉTALOS (*PETAL ALGORITHMS*)

Este algoritmo es una extensión del algoritmo de barrido y se utiliza para generar varias rutas llamadas pétalos con el fin de hacer una selección final resolviendo un *Set Partitioning Problem*. Se dispone de un conjunto de rutas R en la que cada cliente es visitado por varias rutas y se debe seleccionar un subconjunto de R que visite exactamente una vez cada cliente (Olivera, 2004)

2.5.2.6 ALGORITMOS HÍBRIDOS

Los algoritmos híbridos se caracterizan por que combinan varios métodos heurísticos o exactos, para el mejoramiento de las soluciones o reducir la complejidad del problema. (Jaque, 2008).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS.

Para poder llevar a cabo el estudio de tiempos y movimientos, primeramente, se habló con el secretario técnico del H. Ayuntamiento municipal de San Cristóbal de Las Casas.

Teniendo la autorización del Secretario Técnico, el siguiente paso fue dirigirse con el Director del Sistema de Limpia Municipal, de igual forma para informarle sobre el estudio de tiempos y movimientos a realizarse.

Una vez se contó con las autorizaciones debidas, para el trabajo en campo se preparó una tabla de tiempos y movimientos (tabla 1), tomando como base el “Manual para el diseño de Rutas de Recolección de Residuos sólidos Municipales y el Manual Técnico Sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales del año 2013”.

TIEMPOS Y MOVIMIENTOS					
Hora	Tiempo de traslado (min)	Tiempo de recolección (min)	Tiempo muerto (min)	Descripción de la actividad	Observaciones
Total de tiempo empleado					

Tabla 1. Tabla de tiempos y movimientos, basado en “Manual para el diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales y el Manual Técnico Sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales (SEDESOL 2013)”.

El recorrido en campo se inició en el sitio de Encierro a las 05:00 horas, ahí se abordó el camión recolector que atiende las rutas de la zona centro de la ciudad, y con el apoyo de la tabla de tiempos y movimientos, un cronómetro digital (Figura 7) y el programa digital para equipos celulares “MapFactor Navigator FREE (figura 8)”, se comenzó a realizar el estudio de tiempos y movimientos de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas.



Figura 7. Cronómetro digital utilizado para el estudio de tiempos y movimientos.

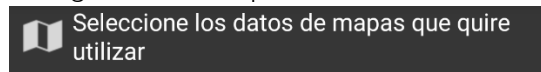


Figura 8. Programa digital de posicionamiento geográfico para equipos celulares
MapFactor Navigator FREE

Cuando el camión empezaba la ruta, con el programa MapFactor Navigator FREE, se georeferenciaba el inicio de ruta, puntos de recolección y el punto final de ruta. Con ayuda del cronómetro y la tabla de tiempos y movimientos se anotaba el tiempo de traslado hacia el inicio de ruta, el tiempo de recolección en cada punto, el tiempo de traslado de punto a punto de recolección, el tiempo de traslado hacia el sitio de disposición final y el tiempo de descarga de RSU en el sitio de disposición final.

3.2 ANÁLISIS DEL MÉTODO Y RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS.

Se realizó una investigación de información referente a los distintos métodos de recolección que se emplean en rutas de recolección de RSU, y así identificar el método empleado en las rutas de la zona centro de la ciudad.

Se realizó un recorrido en campo para poder obtener el grafo con medidas (distancias) y sentido de las calles, los datos fueron plasmados en un grafo.

Posteriormente, se analizó la información obtenida en campo con la tabla de tiempos y movimientos, la cual se plasmó en un mapa y una tabla.

En el mapa se plasmó: ruta completa, inicio y termino de ruta y puntos de recolección.

En la tabla se plasmó: distancia total de ruta, distancia productiva, distancia muerta tiempo total de ruta, tiempo muerto y tiempo útil.

3.3 REVISIÓN DE MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU, Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS.

Se realizó una investigación de información referente a los distintos métodos de optimización de rutas de recolección que se emplean para poder obtener una propuesta de ruta optimizada.

Teniendo en cuenta la información consultada previamente y con la ayuda del grafo de medidas y sentido de calles y la herramienta SOLVER del software Excel, las rutas se sometieron a optimización. Los datos obtenidos se presentaron en un mapa y una tabla.

El resultado obtenido de la herramienta SOLVER del software Excel, se sometió a consideraciones de campo, las cuales incluyen: inicio de ruta en la parte alta de la zona de estudio, desvío de algunas calles para poder cubrir todos los puntos de recolección. Los datos obtenidos se presentaron en un mapa y una tabla.

Los resultados finales se presentaron en un mapa y una tabla comparativa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS

En el estudio de tiempos y movimientos se pudo observar que el sistema de recolección de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas está dividida en dos rutas. Los resultados obtenidos en el estudio de tiempos y movimientos de la ruta 1 y 2 se muestra en la siguiente tabla:

TIEMPOS (hrs, min, seg)						
RUTA	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	PROMEDIO DE RECOLECCIÓN	TIEMPO DE TRASLADO	TIEMPO ÚTIL	TIEMPO MUERTO	TIEMPO TOTAL
1 (línea roja)	1:52:14	0:01:47	0:59:43	2:51:57	0:21:53	3:13:50
2 (línea azul)	1:59:42	0:03:20	1:08:18	3:08:00	0:03:47	3:11:47

Tabla 2. Tabla de tiempos obtenidos en el estudio de tiempos y movimientos.

En las figuras 9 y 10 se muestra el inicio, los puntos de recolección y fin de ruta, así como el relieve de la ruta.

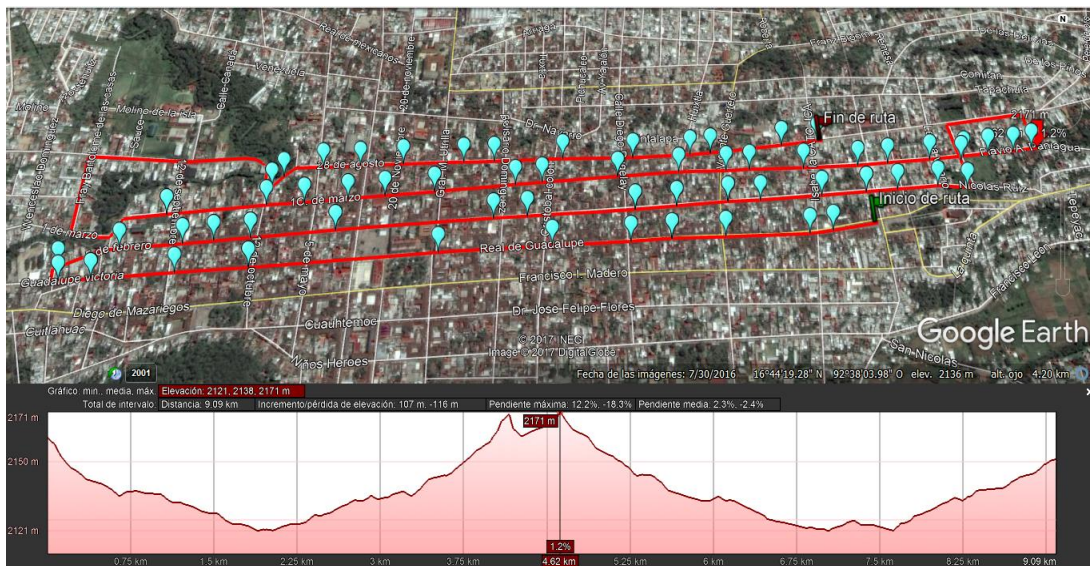


Figura 9. Puntos de recolección señalados con globos color cian, relieve mostrado en la gráfica, inicio señalado con una bandera verde y termino señalado con bandera roja, ruta señalada con línea roja.



Figura 10. Puntos de recolección señalados con globos color cian, relieve mostrado en la gráfica, inicio señalado con una bandera verde y termino señalado con bandera roja, ruta señalada con línea azul.

4.2 MÉTODO Y RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS

En el recorrido de campo realizado en la zona centro de la ciudad se pudo observar que el método de recolección es el de “esquina o parada fija” con la excepción de que los usuarios no depositan los residuos en el camión recolector, únicamente dejan sus residuos en la esquina o parada (Figura 11).

Del mismo recorrido de campo se obtuvieron distancias, sentidos y accesibilidad de las calles (figura 12).



Figura 11. Punto de recolección, Josefa Ortiz de Domínguez esquina Francisco León método “esquina o parada fija”.

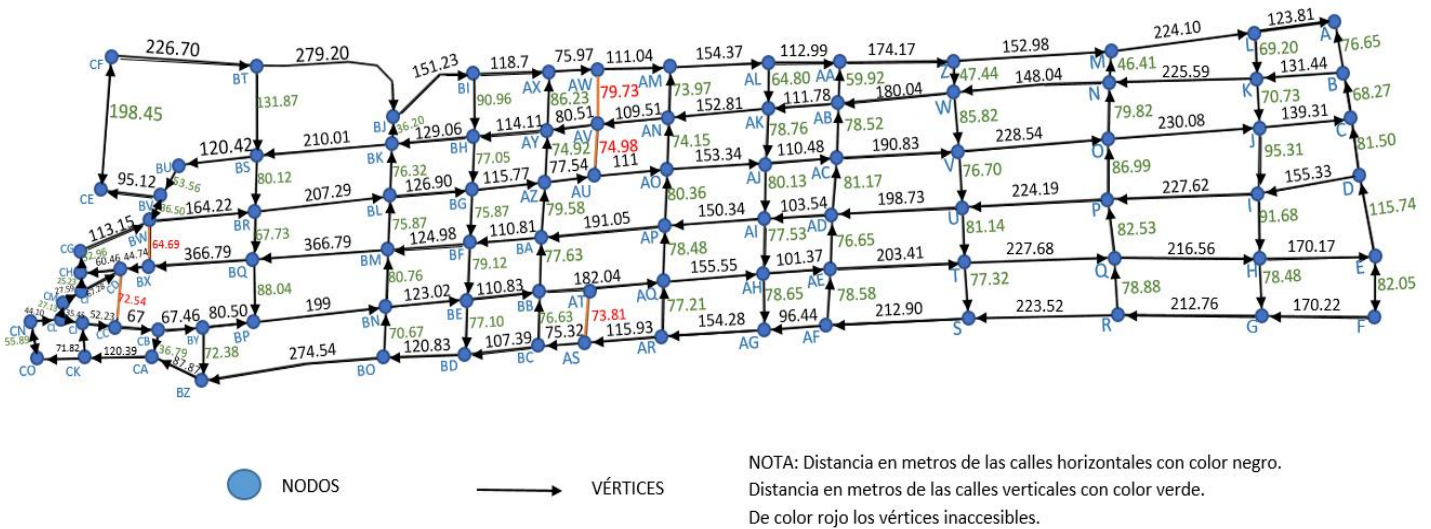


Figura 12. Grafo con sentidos y medidas de las calles de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas.

La información obtenida en campo sobre distancias se analiza conjuntamente con la tabla de tiempos y movimientos para poder tener una mejor perspectiva de las rutas de recolección de la zona centro de la ciudad (Figura 13 y tabla 3). En el mapa se plasmó: ruta completa, inicio y termino de ruta y puntos de recolección. En la tabla se aprecian los datos obtenidos de distancia total de ruta, distancia productiva, distancia muerta, tiempo total de ruta, tiempo muerto y tiempo útil.

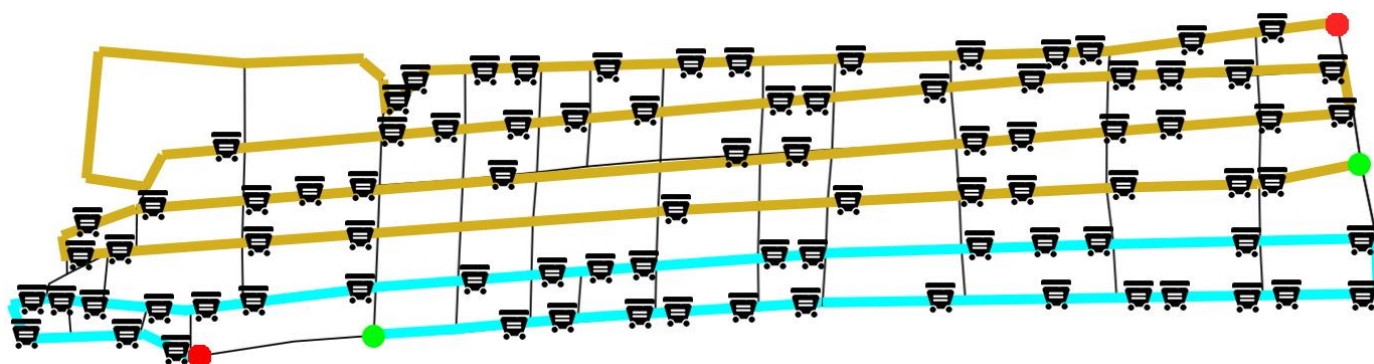


Figura 13. Mapa representativo de las rutas de la zona centro de la ciudad con líneas color dorado y cian, inicio de ruta señalado con un punto color verde y termino de ruta señalado con un punto color rojo.

Ruta Dorada	Distancia productiva	7975 m
	Distancia muerta	1124 m
	Distancia total	9099 m
	tiempo útil	1:52:14
	tiempo muerto	0:21:53
	tiempo total	3:13:50
	combustible empleado	27.297 L
	costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 491.07
	Puntos de recolección atendidos	52
	Puntos de recolección sin atender	0
Ruta Cian	Distancia productiva	3463 m
	Distancia muerta	439 m
	Distancia total	3902 m
	tiempo útil	3:08:00
	tiempo muerto	0:03:47
	tiempo total	3:11:47
	combustible empleado	11.7 L
	costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 210.48
	Puntos de recolección atendidos	34
	Puntos de recolección sin atender	0

Tabla 3. Tabla de distancias obtenidas en el estudio de tiempos y movimientos.

4.3 PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN

La bibliografía consultada mencionaba aspectos que se deben de tener en cuenta para poder crear u optimizar rutas, que en este caso es lo que se pretende. A continuación, se muestra una tabla comparativa (tabla 4), basada en el trabajo de tesis de Maguiña (2016), en donde menciona los criterios de análisis de algunos casos de éxito.

Caso de Éxito	Criterio de Análisis		
	Problema	Método de Solución	Resultados
Plan de Mejora del Almacén y Planificación de las Rutas de Transporte de una Distribuidora de Productos de Consumo Masivo (Milla <i>et al.</i> , 2013)	El diseño de las rutas de transporte de la empresa del caso de estudio es empírico y se basa en el criterio desarrollado por el chofer de cada unidad de transporte y el conocimiento de cada una de las zonas.	Modelo de VRP con la heurística de Clarke Wright, algoritmo k-opt, aplicativo VRP Solver.	Reducción de la distancia recorrida en 25,68%. Se balanceo la distancia recorrida por los vehículos.
Modelo de ruteo de transporte para la distribución de productos cárnicos (Moreno <i>et al.</i> , 2012)	Sobrecostos asociados a tiempos de ruta altos y subutilización del vehículo del canal tradicional en la ciudad de Palmira.	Modelo de VRP con la heurística de Clarke Wright, algoritmo de barrido, aplicativo VRP Solver.	Mejor equilibrio en la distribución de las rutas. Cumplimiento de restricciones que presentaba el negocio.
Una Formulación Para El Problema De Ruteo De Vehículos Con Tiempos De Viaje Dependientes Del Tiempo Para La Actualización De Rutas Con	Problema De Ruteo de Vehículos con Tiempos de Viaje dependientes del Tiempo para la Actualización de Rutas con Información en Tiempo Real.	Modelo VRP con la variante que utiliza ventanas de tiempo, tiempos de viaje dependientes del tiempo de información en	Los costos totales son, en promedio, un 24.1% menores que si se consideran velocidades constante.

Información En Tiempo Real (Ebensperger, 2009)		tiempo real, la heurística de Clarke Wright y heurística de mejoramiento local.	
Solución de problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad usando la teoría de grafos (Correa <i>et all.</i> , 2011)	El proceso de asignación de rutas se realiza sin utilizar herramientas científicas, sólo bajo el criterio de persona "expertas" en el tema y de acuerdo a los requerimientos de carga de los clientes.	Modelo VRP con la variante de capacidad y utilizando grafos.	Obtuvieron un ahorro de 21.9%, este ahorro en el uso de 2 equipos menos se refleja directamente en una disminución de \$4,800,000 en los costos fijos.
Optimización de rutas para el transporte de personal de una empresa usando algoritmo de Clarke y Wright (Atoche, 2015)	El problema que se presenta es la demora de tiempo en que los trabajadores se transportan de sus hogares a su centro de trabajo.	Modelo de VRP con la heurística de Clarke Wright.	Ahorro de 12% en distancia recorrida.
Un caso logístico del problema de ruteo vehicular múltiple m-VRP resuelto con la heurística de Fisher & Jaikumar (Guerrero <i>et all.</i> , 2011)	El problema que presenta la empresa es que no aplica un método para planeación de sus rutas vehiculares para la repartición de los productos a sus clientes, por lo que no puede determinar por donde iniciar a repartir y donde terminar dejando de lado a clientes que tienen mayor demanda.	Algoritmo Fisher & Jaikumar	Ahorro de \$26285 semanalmente.

Tabla 4. Tabla comparativa de casos de éxito de optimización de rutas basado en Maguiña, 2016.

De acuerdo con los casos de éxito presentados en la tabla 3, la solución que se adapta al actual trabajo sería el modelo VRP con heurística de Clarke Wright para encontrar un ahorro en cuanto a distancia se refiere.

Los datos sometidos a optimización con la herramienta SOLVER del software Excel con la ayuda del grafo de medidas y sentido de calles se presentan en la figura 14 y la tabla 5. En las rutas de la figura 14 se agregó un bufer para poder apreciar los puntos de recolección a los que atiende y a los que probablemente no pueda atender cada ruta.

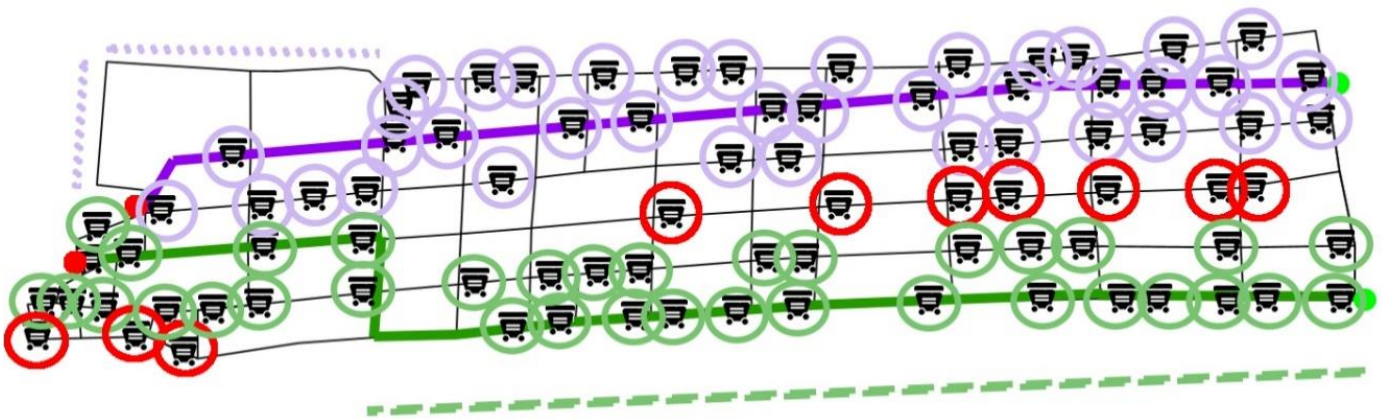


Figura 14. Mapa representativo de las rutas optimizadas con los puntos de recolección que atiende cada ruta.

Ruta Lila	Distancia total	1590 m
	combustible empleado	4.77 L
	costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 85.81
	Puntos de recolección atendidos	39
	Puntos de recolección sin atender	7
Ruta Verde	Distancia total	2470 m
	combustible empleado	6.67 L
	costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 119.99
	Puntos de recolección atendidos	35
	Puntos de recolección sin atender	3

Tabla 5. Tabla de datos de rutas optimizadas.

Analizando el resultado obtenido de la herramienta SOLVER del software Excel, se observa que no todos los puntos de recolección son atendidos, por lo que las rutas se sometieron a consideraciones de campo para poder cubrir todos los puntos de recolección (Figura 15 y tabla 5).

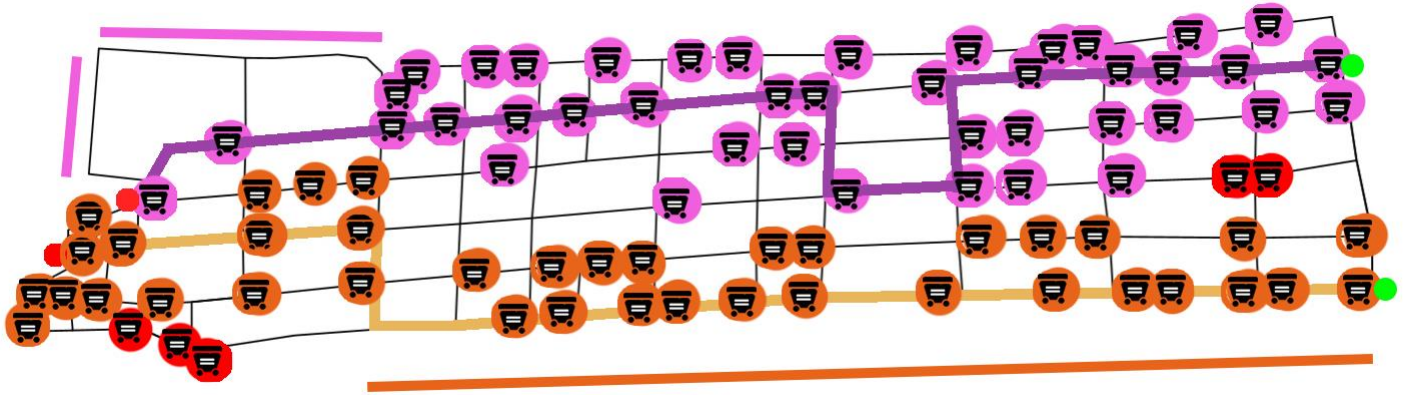


Figura 15. Mapa de rutas sometidas a consideraciones de campo.

Ruta morada	Distancia total	1927.24 m
	combustible empleado	5.78 L
	costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 103.98
	Puntos de recolección atendidos	44
	Puntos de recolección sin atender	2
Ruta Naranja	Distancia total	2470 m
	combustible empleado	6.67 L
	costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 119.99
	Puntos de recolección atendidos	35
	Puntos de recolección sin atender	3

Tabla 5. Tabla de datos de las rutas optimizadas tomando en cuenta las consideraciones de campo.

En la figura 16 se muestran las rutas actuales con líneas color dorado y cian, las rutas optimizadas en color lila y verde, las rutas optimizadas y sus consideraciones de campo en color morado y naranja, para todas las rutas el inicio se marca con un punto color verde y el termino con un punto color rojo.

Los resultados obtenidos muestran una gran disminución de la distancia total que cubren las dos rutas de la zona centro de la ciudad, que se refleja en la cantidad gastada de combustible (tabla 6) entre la ruta actual y la ruta optimizada y las consideraciones de campo.

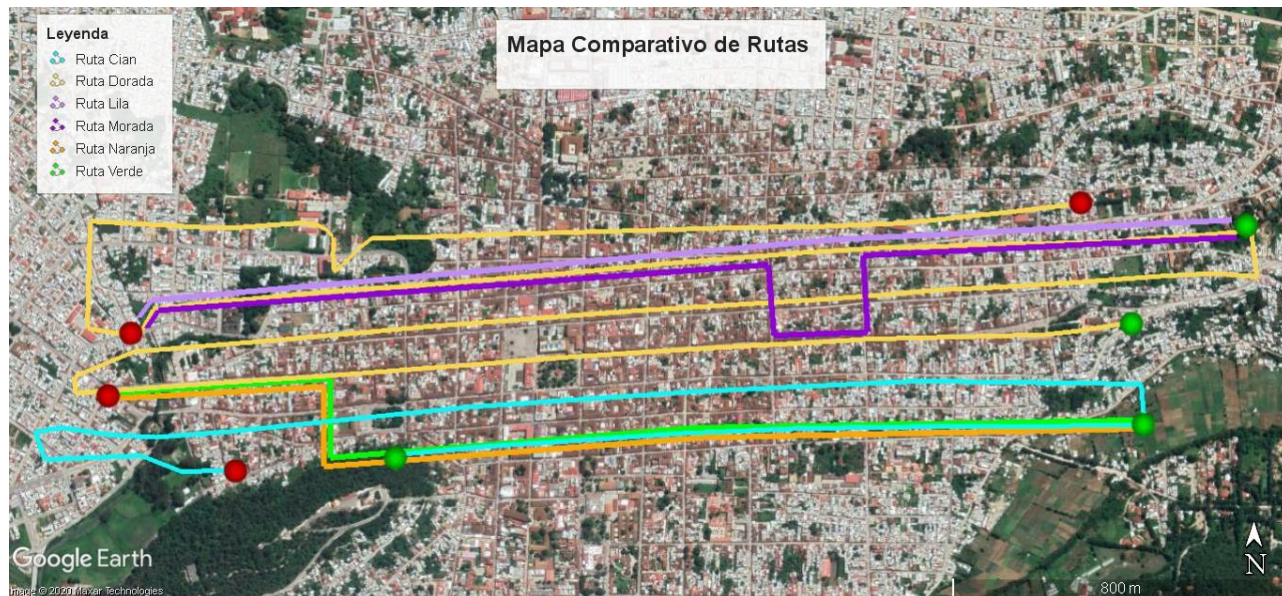


Figura 16. Mapa comparativo de rutas.

	Ruta Dorada	Ruta Lila	Ruta morada
Distancia productiva	7975 m	////	////
Distancia muerta	1124 m	////	////
Distancia total	9099 m	1590 m	1927.24 m
tiempo util	1:52:14	////	////
tiempo muerto	0:21:53	////	////
tiempo total	3:13:50	////	////
combustible empleado (3L*km)	27.297 L	4.77 L	5.78 L
costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 491.07	\$ 85.81	\$ 103.98
Puntos de recolección atendidos	52	39	44
Puntos de recolección sin atender	0	7	2
	Ruta Cian	Ruta Verde	Ruta Naranja
Distancia productiva	3463 m	////	////
Distancia muerta	439 m	////	////
Distancia total	3902 m	2224 m	2224 m
tiempo util	3:08:00	////	////

tiempo muerto	0:03:47	////	////
tiempo total	3:11:47	////	////
combustible empleado	11.7 L	6.67 L	6.67 L
costo por combustible empleado (\$17.99*L)	\$ 210.48	\$ 119.99	\$ 119.99
Puntos de recolección atendidos	34	35	35
Puntos de recolección sin atender	0	3	3
DISTANCIA TOTAL DE RUTA	13001 m	3814 m	4151.24 m
COSTO TOTAL DE RUTA	\$ 701.55	\$ 205.80	\$ 237.97

Tabla 6. Tabla de datos comparativa de rutas.

El costo total por recolección de RSU con la ruta optimizada y sus consideraciones para poder atender todos los puntos de recolección de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas tiene un ahorro de \$463.58 siendo el costo final de \$237.97 por turno de recolección en un día. La distancia total de ruta optimizada obtuvo una reducción de 8 849.76 m comparada con la ruta que actualmente opera en la zona centro.

4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos con el método seleccionado reflejan una reducción del 68% en la distancia total de la ruta de recolección, dicho resultado es bastante positivos si los comparamos con el trabajo realizado por (Milla, 2013) y el trabajo realizado por (Atoche, 2015) en donde en el primer caso se obtuvo una reducción del 25,68% en la distancia recorrida, cuyas rutas se basan en el criterio desarrollado por el chofer de cada unidad, en el segundo caso se optimiza la ruta que sigue el chofer de una empresa para recoger a sus trabajadores, en el cual se obtuvo una reducción del 12.00% en la distancia total de ruta, en ambos casos se empleó la heurística de Clarke Wright resuelta con SOLVER.

4.6 COMENTARIOS FINALES

La ruta final optimizada presenta datos con distancia y costos menores comparados con los de la ruta que se emplea actualmente, para poder registrar el tiempo a emplearse en la ruta optimizada se tendrá que ponerse en operación.

El cambio de paradas de recolección en la ruta optimizada no representa gran cambio puesto que la distancia máxima de puntos de recolección es de 20 m, y dichos cambios tendrían que ser informados a los habitantes de la zona antes de que se inicie la operación de la nueva ruta, ya que los habitantes seguirían colocando sus residuos en los puntos de recolección que acostumbran.

Por lo tanto, la ruta que opera actualmente puede reducir el tiempo total empleado de tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que los usuarios/habitantes de la zona saquen los residuos cuando escuchen la campana que avisa que el camión recolector va a pasar, dado que, si sacan los residuos antes de este momento, incluso una noche antes, la fauna callejera rompe las bolsas buscando alimento y ocasiona que los trabajadores de la recolección tengan que barrer y recoger los residuos regados.
- Que la población no estacione vehículos en las paradas o puntos de recolección, ya que la mayoría de las calles de la zona centro de la ciudad son muy angostas y ocasiona que el camión de recolección no pueda pasar.

CAPÍTULO V

ANEXOS

CAPITULO V

5. ANEXOS

5.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS

Tabla de tiempos y movimientos.

TIEMPOS Y MOVIMIENTOS				
Hora	Tiempo de traslado (min)	Tiempo de recolección (min)	Tiempo muerto (min)	Descripción de la actividad
5:22:00				El camión sale del sitio de encierro
05:22:00- 05:35:25	0:13:25			Tiempo de traslado del garaje al primer punto de recolección
05:35:25 - 05:38:02	0:00:00		0:02:47	los trabajadores alistan cosas para empezar
05:38:02 - 05:40:25	0:00:00	0:02:23		Tiempo empleado en el nodo 1
05:40:52 - 05:41:02	0:00:27	0:00:20		Tiempo empleado en el nodo 2
05:41:02 - 05:44:30	0:00:24	0:03:24		TN3
05:44:30 - 05:48:37	0:01:01	0:02:56		TN4
05:48:37 - 05:49:15	0:00:25	0:00:13		TN5 dos bolsas de basura
05:49:15 - 05:53:56	0:00:30	0:01:41		TN6
05:53:56 - 05:55:31	0:00:11	0:01:24		TN7
05:55:31 - 06:01:26	0:01:16	0:04:39		TN8
06:01:26 - 06:03:43	0:01:53	0:00:14		TN9
06:03:43 - 06:05:20	0:01:07	0:00:36	0:01:07	Parada obstruida por vehículo obstruida
06:05:20 - 06:08:26	0:00:54	0:02:12		
06:08:26 - 06:10:43	0:00:32	0:01:45		
06:10:43 - 06:12:06	0:00:20	0:01:03		
06:12:06 - 06:13:28	0:00:47	0:00:35		
06:13:28 - 06:15:02	0:00:56	0:00:38		
06:15:02 - 06:19:15	0:00:32	0:03:41		La gente es la que saca la basura
06:19:15 - 06:20:06	0:00:29	0:00:22		
06:20:06 - 06:21:19	0:01:03	0:00:10		
06:21:19 - 06:23:01	0:01:25	0:00:17		
06:23:01 - 06:28:02	0:00:23	0:04:38		

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

06:28:02 – 06:29:44	0:01:16	0:00:26		
06:29:44 – 06:32:00	0:00:30	0:01:46		
06:32:00 – 06:34:53	0:00:33	0:01:30	0:00:50	Bolsas rotas
06:34:53 – 06:36:21	0:00:43	0:00:45		
06:36:21 – 06:41:11	0:00:28	0:02:14	0:02:08	Bolsas rotas
06:41:11 – 06:42:14	0:00:45	0:00:18		
06:42:14 – 06:47:31	0:00:40	0:04:37	0:00:40	Parada obstruida
06:47:31 – 06:48:13	0:00:12	0:00:30		
06:48:13 – 06:49:37	0:00:31	0:00:53		
06:49:37 – 06:54:09	0:02:18	0:02:14		Campanero inicia y la gente comienza a sacar sus residuos
06:54:09 – 06:55:03	0:00:37	0:00:17		
06:55:03 – 06:55:57	0:00:08	0:00:46		Parada obstruida
06:55:57 – 06:57:52	0:00:29	0:01:26		
06:57:52 – 07:00:35	0:00:28	0:02:43		
07:00:35 – 07:02:28	0:00:40	0:01:13		
07:02:28 – 07:02:32	0:00:24	0:00:40		
07:02:32 – 07:06:49	0:00:47	0:02:23		
07:06:49 – 07:07:26	0:00:24	0:00:13		
07:07:26 – 07:08:19	0:00:27	0:00:26		
07:08:19 – 07:09:46	0:00:36	0:00:51		
07:09:46 – 07:10:46	0:00:39	0:00:21		
07:10:46 – 07:14:47	0:00:40	0:03:21		
07:14:47 – 07:16:17	0:00:32	0:00:58		
07:16:17 – 07:19:08	0:00:56	0:01:55		
07:19:08 – 07:24:49	0:00:45	0:02:22	0:02:34	Bolsas rotas
07:24:49 – 07:26:25	0:01:23	0:00:13		
07:26:25 – 07:27:26	0:00:29	0:00:32		
07:27:26 – 07:31:09	0:00:35	0:03:08		Calle obstruida
07:31:09 – 07:42:18	0:00:50	0:08:08	0:02:11	
07:42:18 – 07:51:18	0:03:57	0:05:03		Campanero inicia y la gente comienza a sacar sus residuos
07:51:18 – 07:53:09	0:00:34	0:01:17		
07:53:09 – 07:54:56	0:00:46	0:01:01		
07:54:56 – 07:56:12	0:00:40	0:00:36		
07:56:12 – 08:05:35	0:00:43	0:00:23	0:08:11	parada obstruida
08:05:35 – 08:06:53	0:00:50	0:00:28		
08:06:53 – 08:14:03	0:00:37	0:06:33		
08:14:03 – 08:17:56	0:00:45	0:03:08		
08:17:56 – 08:19:21	0:00:45	0:00:40		

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

08:19:21 - 08:20:52	0:00:23	0:01:48		calle angosta
08:20:52 - 08:23:15	0:00:32	0:01:51		
08:23:15 - 08:24:49	0:00:23	0:01:11		
08:24:49 - 08:26:04	0:00:30	0:00:45		
08:26:04 - 08:35:12	0:00:33	0:07:10	0:01:25	termina primera parte de la ruta y alistan el camión para ir a SDF
08:35:12 - 08:58:59	0:20:44	0:00:00	0:03:03	salida de la ciudad
08:58:59 - 09:25:36	0:22:32	0:04:05		llegada a SDF, descarga y salida
09:25:36 - 09:55:07	0:25:24	0:04:07		inicio de la segunda parte de la ruta
09:55:07 - 09:55:21	0:00:28	0:00:14		nodo 2
09:55:21 - 09:56:25	0:00:24	0:00:40		nodo4
09:56:25 - 10:04:12	0:01:03	0:06:44		
10:04:12 - 10:07:03	0:00:22	0:02:29		
10:07:03 - 10:09:35	0:00:14	0:02:18		
10:09:35 - 10:10:10	0:00:23	0:00:12		
10:10:10 - 10:12:51	0:00:18	0:02:23		
10:12:51 - 10:14:11	0:00:19	0:01:01		parada obstruida por vehículo
10:14:11 - 10:24:34	0:00:26	0:09:57		alta generación de RS
10:24:34 - 10:34:02	0:01:07	0:08:21		alta generación de RS
10:34:02 - 10:40:15	0:01:17	0:04:56		alta generación de RS
10:40:15 - 10:50:27	0:01:12	0:09:00		alta generación de RS
10:50:27 - 10:51:50	0:00:36	0:00:47		
10:51:50 - 10:58:09	0:00:39	0:05:40		campanero avisa, alta generación de RS
10:58:09 - 11:02:04	0:01:18	0:02:24		
11:02:04 - 11:05:13	0:00:51	0:02:18		trafico detenido
11:05:13 - 11:15:16	0:02:10	0:07:53		trafico detenido, alta generación de RS
11:15:16 - 11:16:09	0:00:27	0:00:26		
11:16:09 - 11:20:03	0:01:00	0:02:54		
11:20:03 - 1:28:53	0:01:12	0:04:42	0:02:56	bolsas rotas
11:28:53 - 11:31:23	0:00:52	0:01:38		
11:31:23 - 11:35:01	0:00:56	0:02:42		
11:35:01 - 11:36:09	0:00:29	0:00:39		
11:36:09 - 11:38:35	0:00:40	0:01:46		
11:38:35 - 11:40:08	0:00:40	0:00:53		
11:40:08 - 11:41:38	0:00:21	0:01:09		
11:41:38 - 11:44:03	0:00:40	0:01:45		
11:44:03 - 11:45:50	0:00:37	0:01:10		
11:45:50 - 11:47:28	0:01:07	0:00:31		
11:47:28 - 11:57:04	0:00:27	0:09:09		
11:57:04 - 11:58:26	0:00:39	0:00:43		

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

11:58:26 - 12:00:03	0:00:35	0:01:02		
12:00:03 - 12:28:29	0:01:00	0:16:45	0:00:51	
12:28:29 - 12:30:54	0:02:00	0:00:15		
12:30:54 - 12:31:31	0:00:28	0:00:09		
12:31:31 - 12:47:08	0:15:37	0:00:00		salida de la ciudad
12:47:08 - 13:15:47	0:26:22	0:02:17		llegada a SDF, descarga y salida
13:15:47 - 13:41:59	0:26:12			llegada al sitio de encierro
13:41:59				fin de ruta
TOTAL	3:43:51	3:58:18	0:28:43	
TIEMPO TOTAL EMPLEADO			8:10:52	

5.2 HOJA DE CALCULO SOLVER

DISTANCIA
TOTAL

2224.15238

VARIABLE	ORIGEN	FIN	0-1	DISTANCIA
FE	F	E	0	82.01
FG	F	G	1	170.22
ED	E	D	0	115.74
GR	G	R	1	212.76
DI	D	I	0	153.33
RQ	R	Q	0	78.88
RS	R	S	1	223.52
QP	Q	P	0	82.53
IP	I	P	0	227.62
PU	P	U	0	224.19
SAF	S	AF	1	212.9
UAD	U	AD	0	198.73
AFAE	AF	AE	0	78.58
AFAG	AF	AG	1	96.44
ADAI	AD	AI	0	103.54
AEAD	AE	AD	0	76.65
AGAR	AG	AR	1	154.28
AIAP	AI	AP	0	150.34
ARAQ	AR	AQ	0	77.21
AQAP	AQ	AP	0	78.48
APBA	AP	BA	0	191.01
ARAS	AR	AS	1	115.93
ASBC	AS	BC	1	75.32

NODO	FLUJO NETO	LADO DER
F	1	1
E	0	0
D	0	0
I	0	0
H	0	0
G	0	0
R	0	0
Q	0	0
P	0	0
U	0	0
I	0	0
S	0	0
AD	0	0
AE	0	0
AF	0	0
AG	0	0
AH	0	0
AI	0	0
AP	0	0
AQ	0	0
AR	0	0
AS	0	0
BC	0	0

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

BCBB	BC	BB	0	76.63
BBBA	BB	BA	0	77.63
BABF	BA	BF	0	110.81
BCBD	BC	BD	1	107.39
BDBO	BD	BO	1	120.83
BOBN	BO	BN	1	70.67
BNBM	BN	BM	1	80.76
BFBM	BE	BM	0	124.98
BMBQ	BM	BQ	1	366.79
BOBZ	BO	BZ	1	274.54
BZCA	BZ	CA	1	87.87
BQBX	BQ	BX	1	366.79
BXCD	BX	CD	1	44.74
CAK	CA	CK	1	120.39
CKCO	CK	CO	1	71.82
COCN	CO	CN	1	55.89
CNCL	CN	CL	1	44.1
CLCM	CL	CM	1	27.13
CMCI	CM	CI	1	27.59
CICD	CI	CD	1	67.28
CICH	CI	CH	1	25.23
CDCH	CD	CH	0	60.46

BB	0	0
BA	0	0
BF	0	0
BE	0	0
BD	0	0
BO	0	0
BN	0	0
BM	0	0
BQ	0	0
BZ	0	0
CA	0	0
CK	0	0
CO	0	0
CN	0	0
CL	0	0
CM	0	0
CI	0	0
CD	0	0
BX	0	0
CH	-1	-1

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPITULO VI

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfredo Olivera (2004). *“Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos”*, *reporte de investigación*, Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2004, 10, 21, 40 pags.

En línea: <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>
consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Atoche, Wilmer. Portocarrero, Fiorella (2015). *“Optimización de rutas para el transporte de personal de una empresa usando algoritmo de Clarke y Wright”*.

LACCEI. Perú.

En línea:

<http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/meta/RP110.html>

Consultado el “(lunes 25 de mayo de 2020)”

Beliën, J., De Boeck, L., & Van Ackere, J. (2012). *Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review*. *Transportation Science*, 48(1), 78-102.

En línea:

<http://doi.org/10.1287/trsc.1120.0448>

consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Benito Quintanilla, Ana (2015). *Problemas de rutas de vehículos: modelos, aplicaciones logísticas y métodos de resolución*. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES. Grado en Ingeniería en Organización Industrial. 23, 28 pags.

En línea:

<https://www.coursehero.com/file/29178049/TFG-I-236pdf/>

consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Bernache Pérez Gerardo (2015). *La gestión de los residuos sólidos: un reto para los gobiernos locales Sociedad y Ambiente*, vol. 1, núm. 7, marzo-junio, 2015, pp. 72-98. El Colegio de la Frontera Sur. Campeche, México

En línea: <http://www.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=455744912004>

consultado el “(sábado 03 de Junio de 2017)”.

Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007). Chapter 6 Vehicle Routing. En C. B. and G. Laporte (Ed.), *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 14, pp. 367-428).

En línea:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927050706140062>

consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Correa Espinal, Alexander. Cogollo Flórez, Juan. Salazar López, Juan (2011). *“Solución de Problemas de Ruteo de Vehículos con restricciones de capacidad usando la Teoría de Grafos”*. Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol.8 No. 3, 2011

En línea:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/avances/article/view/20064>

Consultado el “(lunes 25 de mayo de 2020)”

Ebensperger Palacios, Matías (2009). *“Una Formulación para el Problema de Ruteo de vehículos con Tiempos de Viaje Dependientes del Tiempo para la actualización se rutas con Información en tiempo real”*. Pontificia Universidad Católica De Chile. Tesis. Chile

En línea:

<https://repositorio.uc.cl/handle/11534/1356>

Consultado el “(lunes 25 de mayo de 2020)”

Guerrero Campanur, Aarón. Pérez Loaiza, Rodolfo, Olivares Benítez, Elías (2011). *“Un caso Logístico Del Problema de Ruteo Vehicular Múltiple m-VRP Resuelto con la Heurística de Fisher & Jaikumar”*. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Tesis. Puebla. México.

En línea:

https://www.academia.edu/1114836/Un_caso_log%C3%ADstico_del_problema_de_ruteo_vehicular_m%C3%BAltiple_mVRP_resuelto_con_la_heur%C3%ADstica_de_Fisher_and_Jaikumar

Consultado el “(lunes 25 de mayo de 2020)”

Gutiérrez F. (2008). *Análisis del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Programa de Maestría y Doctorado en ingeniería. Universidad Nacional autónoma de México, México, 4, 15-27 PP.

En línea:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2431/gutierrezgalicia.pdf?sequence=1> consultado el “(jueves 16 de Marzo de 2017)”.

INECC (2012). *DIAGNÓSTICO BÁSICO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*, versión extensa. México, 12, 27 pp.

En línea:

www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf consultado el “(miércoles 15 de Marzo del 2017)”.

Johana Andrea Patiño Chirva, Yésica Xiomara Daza Cruz (2015). *APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE RECOLECCIÓN SELECTIVA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN BOGOTÁ*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS FACULTAD DE INGENIERÍA PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL. 28 pag.

En línea:

<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3004?locale=es> consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Jorge Jaramillo (1991). *GUIA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES*. Washington, D.C., 5 p.

En línea: <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/relleno.pdf> consultado el “(sabado 08 de Abril de 2017)”.

“Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development;. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO.”

En línea: <http://hdl.handle.net/10986/30317> consultado el “(miercoles 03 de Junio de 2020)”

LPGGIR (2003). LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. México, 6, 12 pp.

En línea: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf consultado el “(miércoles 15 de Marzo de 2017)”.

Ley de Residuos Solidos para el Estado de Chiapas y sus municipios 2019

En línea:

<https://congresochiapas.gob.mx/legislaturalxvii/trabajolegislativo/legislacion-vigente> consultado el “(sábado 23 de mayo de 2020)”

Lucero Lizeth Maguiña Agurto, (2016). *“Implantación de VRP - Solver aplicando la heurística de Clarke Wright para el ruteo del transporte terrestre en el área de distribución caso de estudio: industrias alimentarias”*. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS. FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA. Tesis. Lima, Perú. 80, 81, 82 pag.

En línea:

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMS_c81144a87ae13c73034af449f6a57b3d/Details consultado el “(lunes 25 de mayo de 2020)”

Milla Obregón, Gloria. Silva Felices, Marlene, (2013). *“Plan de mejora del almacén y planificación de las rutas de transporte de una distribuidora de productos de consumo masivo”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Tesis. Lima. Perú.

En línea:

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4598> Consultado el
“(lunes 25 de mayo de 2020)”

Moreno Vidal, Katerine. Parra Lozada, Carlos Andrés. Ulabarry Quintero, Luis Eduardo, (2012). *“Diseño y Estructuración del Modelo de Ruteo de Transporte para la Distribución de productos cárnicos en un canal de Distribución Tradicional”*. Tesis. Colombia.

En línea:

<http://hdl.handle.net/10819/1106> Consultado el “(lunes 25 de mayo de 2020)”

Mrówczyńska, B. (2011). *Optimal Routes Scheduling For Municipal Waste Disposal Garbage Trucks Using Evolutionary Algorithm And Artificial Immune System. Transport Problems, 6 p.*

En línea:

<https://content.sciendo.com/view/journals/ceer/26/3/article-p43.xml>
consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Paolo Toth y Daniele Vigo, (2002). *“The Vehicle Routing Problem”*. Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM) monographs on discrete mathematics and applications, Philadelphia, USA, 2002, pp 1-23, 109-149.

En línea:

<https://epubs.siam.org/doi/pdf/10.1137/1.9780898718515.fm> consultado el
“(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos

En línea:

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/07/07078.pdf> consultado el “(domingo 07 de Mayo de 2017)”.

PEPGIR (2003). PROGRAMA ESTATAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL EN EL ESTADO DE CHIAPAS. México, 21 pp.

En línea: <http://spabc.baja.gob.mx/wpcontent/uploads/2016/08/PEPGIR.pdf>
consultado el “(martes 14 de Marzo del 2017)”.

Quadri (2003). *La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales Y participación y Participación Privada en el Manejo de Residuos urbanos*. Mexico, 12,14 pp.

En línea:

http://www.sustenta.org.mx/3/wpcontent/files/BASURA_EN_EL_LIMBO.pdf
consultado el “(sabado 08 de Abril de 2017)”.

R. Andrés Jaque Pirabán (2008) *Métodos Aproximados para la Solución del Problema de Enrutamiento de Vehículos. 1,3,4,5 Pags.*

En línea:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiOxqDUtrHpAhUIRKwKHx8cBdEQFjAAegQIARAB&url=https%3A%2F%2Fandresjaquep.files.wordpress.com%2F2008%2F12%2Festad-o-del-arte-vrp1.pdf&usg=AOvVaw2f9Dd_vWiRLkKJexmPtrrx consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

Racero J., Pérez E. (2006). *Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios (Ecoeficiencia)*, en: X Congreso de Ingeniería de Organización, México,

En línea: <http://adingor.es/congresos/web/articulo/detalle/a/804> consultado el “(miércoles 15 de Marzo del 2017)”.

Rocha, L.; González, C. y Orjuela, J. (2011). *Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución*. En: Ingeniería, Vol. 16, No. 2, 49,46 págs.

En línea:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4797255>
consultado el “(miércoles 13 de mayo de 2020)”

SEDESOL (2004). *MANUAL TÉCNICO SOBRE GENERACIÓN, RECOLECCIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES*. México, 73-97 pp.

En línea: http://www.sustenta.org.mx/3/wp-content/files/MT_ManualTecnicosobreGeneracionRecoleccion.pdf
consultado el “(jueves 16 de Marzo de 2017)”.

SEDESOL (2013). *MANUAL PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES*. México, 23-44 pp.

En línea: http://www.sustenta.org.mx/3/wp-content/files/MT_RutasRecoleccion.pdf consultado el “(jueves 16 de Marzo de 2017)”.

SEMAHN (2013). *DIAGNOSTICO ESTATAL*

En línea: www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/residuos/diagnostico#
consultado el “(jueves 16 de Marzo 2017)”.

Szanto Narea. M. *LA PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 1 p.

En línea: http://www.kpesic.com/sites/default/files/A35_0.pdf consultado el “(sábado 08 de Abril de 2017)”.

Zafra Mejía Carlos Alfonso (2009). *Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistema de caja fija (SCF)*. Ingeniería de Investigación, Volumen 29, Número 2.

En línea:

<http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinv/rt/printerFriendly/15172/34405>

consultado el "(sábado 03 de Junio de 2017)".